

Die Naturlehre

nach ihrem

gegenwärtigen Zustande

mit Rücksicht

auf mathematische Begründung.

Dargestellt

von

Dr. Andreas Baumgartner,

k. k. Regierungsrathe, Director der k. k. Aerarial-Porcellan-, Gußspiegel- und Smalte-Fabriken, Ritter des königl. sächsischen Civil-Verdienst-Ordens, Mitglied mehrerer in- und ausländischen gelehrten Gesellschaften.

Sechste Auflage

von Genanntem und von

Dr. Andreas v. Ettingshausen,

Professor der Physik, emeritirtem Professor der höheren Mathematik an der k. k. Universität zu Wien, Mitglied mehrerer in- und ausländischen gelehrten Gesellschaften,

gemeinschaftlich umgearbeitet.

Mit acht Kupfertafeln.

Wien, 1839.

Gedruckt und im Verlage bei Carl Gerold.



Vorrede.

Eine sechste Auflage eines wissenschaftlichen Werkes gehört immerhin zu den seltenen Erscheinungen, und der Verfasser eines solchen muß sich besonders für verpflichtet halten, die Achtung, welche jeder Schriftsteller vor seinem Publicum haben soll, durch die sorgfältigste Behandlung seiner Arbeit an Tag zu legen. Ich glaubte dieser Verpflichtung nicht besser entsprechen zu können, als daß ich mich zu der vorliegenden Ausgabe mit dem Herrn Professor von Ettingshausen verband, und so meine Kenntnisse mit dem ganzen literarischen Schatze dieses ausgezeichneten Lehrers und Gelehrten vermehrte.

Wir beide haben das ganze Werk in völliger Uebereinstimmung bearbeitet, und jeder Satz kann als der Ausdruck der gemeinschaftlichen Ueberzeugung beider betrachtet werden. Dadurch wird aber noch nicht behauptet, daß wir beide an der Bearbeitung jedes Theiles vollkommen gleichen Antheil gehabt haben, welches auch nicht ganz der Wahrheit gemäß wäre, indem der Einfluß meines gelehrten Verbündeten bei der Bearbeitung der Optik und des eigentlichen mathematischen Theiles, mein Einfluß hingegen bei den übrigen Theilen des Buches gewissermaßen überwiegend war.

Plan und Anordnung sind im Ganzen, wenigstens dem Principe nach, dieselben geblieben, wie bei den früheren Ausgaben, und wenn die äußere Aufeinanderfolge einzelner Theile hie und da etwas geändert erscheint, so rührt dieses davon her, daß wir es so dem angenommenen Principe am angemessensten fanden, und die neueren, seit der letzten Ausgabe gemachten Entdeckungen im Gebiete der Naturlehre eine solche Aenderung for-

derten. Von diesen Entdeckungen ist alles aufgenommen worden, was dem Zwecke des Buches angemessen schien, und es dürfte in dieser Beziehung die gegenwärtige Ausgabe eben so, ja noch mehr als die früheren dazu geeignet seyn, den Freunden dieser Wissenschaft die physikalischen Lehren so darzubieten, wie es der gegenwärtige Standpunkt der Naturlehre erfordert, und darum ihr Einfluß über die Schule hinaus reichen, für die sie wohl zunächst, aber nicht ausschließend bestimmt ist. Dem geübten Lehrer, der zugleich die Wissenschaft und das Bedürfniß der Schule kennt, wird es ein Leichtes seyn, das ihm überflüssig scheinende wegzulassen.

An der äußeren Ausstattung dürfte der Leser nichts gegen die früheren Ausgaben vermissen. Die etwas geringere Bogenzahl rührt nicht etwa von einer zu weit getriebenen Abkürzung oder Zusammenziehung, sondern bloß von dem mehr compressen Drucke her. Wäre der frühere Druck beibehalten worden, so hätte man bei der Menge der nöthig gewordenen Zusätze die Bogenzahl bedeutend vermehren, und so dem Buche eine ungefällige, vielleicht sogar ungelegene Dicke geben müssen.

Wien im Mai 1839.

A. Baumgartner.

Inhalt.

Erster Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erster Abschnitt. Licht.

Zweiter Abschnitt. Wärme.

Dritter Abschnitt. Magnetismus.

Vierter Abschnitt. Electricität.

Dritter Theil.

Naturerscheinungen im Großen.

Erster Abschnitt. Physische Astronomie.

Seite

Zweiter Abschnitt. Physische Geographie.

Dritter Abschnitt. Meteorologie.

Anmerkung. Die mit Sternchen (*) bezeichneten Kapitel fallen bei kleinen Lehranstalten, laut §. 82 des Studienplanes, in das Gebiet des Professors der Mathematik.

Naturlehre.

Erster Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Einleitung.

1. Es ist eine unläugbare Thatsache des Bewußtseyns, daß wir Vorstellungen haben, zu welchen wir auf dem Wege sinnlicher Wahrnehmung gelangen. Alles, was sinnlich wahrgenommen wird, nennen wir im Allgemeinen Erscheinung oder Phänomen. Sinnliche Wahrnehmungen, besonders jene, welche der Tastsinn vermittelt, nöthigen uns, etwas im Raume Existirendes und denselben Erfüllendes anzunehmen, was den Erscheinungen zum Grunde liegt. Wir bezeichnen es mit dem Worte Materie. Mit der Erfüllung des Raumes ist offenbar Ausdehnung nothwendig verbunden. Materie von begrenzter Ausdehnung nennen wir Körper, und den Inbegriff der Körper Natur in materieller Bedeutung, wohl auch Sinnenwelt, Körperwelt.

In formeller Bedeutung bezeichnet das Wort Natur das innere Prinzip alles dessen, was zum Daseyn eines Dinges gehört. In diesem Sinne wird es genommen, wenn man z. B. von der Natur des Wassers, des Goldes u. s. w. spricht.

2. Die Betrachtung der Natur eröffnet uns eine Quelle von Erkenntnissen, deren Inbegriff Naturkunde, dies Wort im weitesten Sinne genommen, genannt werden kann. Aber nur diejenigen Erkenntnisse sind gleichartig, welche der aus einerlei Standpunkt unternommenen Naturbetrachtung entsprechen, und nur diese können, in systematische Verbindung gebracht, eine Wissenschaft darstellen. Es finden demnach eben so viele verschiedene Naturwissenschaften Statt, als es Gesichtspunkte gibt, von denen man bei der Naturforschung ausgeht. Bei dem allgemeinsten Ueberblicke ergeben sich uns zunächst zwei verschiedene Betrachtungsweisen der Natur. Wir finden nämlich in ihr keinen weiteren Gegenstand der Forschung, als die Körper, deren Inbegriff sie ist, und die durch die Körper dargebotenen Erscheinungen. Letztere sind theils Eigenschaften der Körper, theils Veränderungen, die durch wechselweises Aufeinanderwirken derselben in der Sinnenwelt vor sich gehen. Es kann nun die Absicht der Forschung entweder auf die Körper selbst gerichtet seyn, und die Gesammtheit der Erscheinungen, welche sie uns darbieten, nur in so weit in Erwägung kommen, als sich die Körper durch dieselben von einander unterscheiden, mithin dadurch bestimmt werden; oder es sind gerade die Erscheinungen in der Körperwelt das eigentliche Object der Untersuchung, und die Körper kommen nur in so weit in Betrachtung, als

sie die Träger dieser Erscheinungen sind. Im ersten Falle handelt es sich um die Formen der Körper, und um den Zusammenhang dieser Formen nach dem Prinzipe der Aehnlichkeit, im zweiten hingegen um die Gesetze und gegenseitige Abhängigkeit der Erscheinungen in der Sinnenwelt nach dem Prinzipe der Causalität. Hiedurch erhalten zwei Naturwissenschaften ihr Daseyn, nämlich die Naturgeschichte, welche die Kenntniß der Naturdinge in ihrem ursprünglichen Zustande nach ihrer Aehnlichkeit, und die Naturlehre, in weiterer Bedeutung des Wortes, welche die Kenntniß der Naturerscheinungen in ihrem Causalnexus zum Gegenstande hat.

3. Es gibt so viele Körper und so mannigfaltige Erscheinungen an denselben, daß ein menschlicher Geist sie insgesammt zu umfassen nicht vermag. Man ist deßhalb genöthiget, bei der Bearbeitung der Naturlehre die Erscheinungen, durch welche das Leben der organisirten Wesen, des Menschen, der Thiere und der Pflanzen sich äußert, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen, von denjenigen abzusondern, welche die leblosen Körper darbieten. Die Betrachtung der ersteren ist der Gegenstand einer besonderen Wissenschaft, welche Physiologie heißt, während das Studium der unorganischen Natur der Naturlehre im engeren Sinne des Wortes oder der sogenannten Physik anheim fällt. Die Physik bahnt der Physiologie den Weg, daher geht bei dem wissenschaftlichen Unterrichte jene dieser voran.

4. Die physikalische Untersuchung der Erscheinungen ist mit der Kenntniß ihrer Gesetze und ihrer Ursachen vollständig abgeschlossen, denn es kommen bei diesem Geschäfte keine anderen Fragen in Betrachtung, als wie jede einzelne Erscheinung erfolgt, und warum sie erfolgt. Zur Beantwortung dieser Fragen gelangen wir hauptsächlich durch aufmerksame Betrachtung der Naturerscheinungen, d. i. durch Beobachten derselben. Wiewohl ununterbrochen Erscheinungen vor sich gehen, bei denen sich die Natur in ihrer freien, von unserem Zuthun ganz unabhängigen Wirksamkeit äußert; so sind wir doch gezwungen, theils um noch unbekannte Erscheinungen gewahr zu werden, theils um die bereits bekannten unter möglichst abgeänderten Umständen betrachten zu können, ihr Auftreten selbst zu veranlassen. Man nennt die absichtliche Herbeiführung einer Erscheinung einen Versuch oder ein Experiment. Die Austellung zweckmäßig angeordneter Versuche ist das sicherste Mittel, die Wirksamkeit der Natur von allen Seiten kennen zu lernen, und dem Zusammenhange der Erscheinungen auf die Spur zu kommen. Auch bei dem Unterrichte in der Naturlehre sind sie als Beweismittel für die Richtigkeit der aufgestellten Behauptungen unentbehrlich.

5. Sowohl zur Anstellung mancher Beobachtungen als auch zu Versuchen braucht man Instrumente, deren Zweck, Bestandtheile und Grenzen der Richtigkeit der Physiker genau kennen muß, besonders, wenn er sie nicht bloß dazu braucht, das Stattfinden gewisser Erscheinungen nachzuweisen, sondern sie der Größe nach zu bestimmen, und den Einfluß jedes darauf Bezug habenden Nebenumstandes an-

zugeben. Es ist klar, daß dazu eine, nicht Jedermann eigene Geschicklichkeit, viel Uebung und ein besonderer Scharfblick gehört. Indeß erhält der geschickteste Physiker mit den besten Instrumenten doch nie vollkommen fehlerfreie Resultate, und es bleibt, um der Wahrheit möglichst nahe zu kommen, nichts übrig, als die Operation oft genug zu wiederholen, und aus allen Resultaten dasjenige zu suchen, welches mit dem geringsten Fehler behaftet ist. Dahin gelangt man mittelst einer besondern Rechnungsmethode, die einen Theil der Wahrscheinlichkeitsrechnung ausmacht. (Siehe: Die Wahrscheinlichkeitsrechnung in ihrer Anwendung auf das wissenschaftliche und praktische Leben, von J. J. Littrow. Wien 1833. *A Preliminary discourse on the study of natural philosophy by J. F. W. Herschel. London* 1830. *Senebier l'art d'observer. Genève* 1775. Deutsch: Leipzig 1776. *Nollet l'art des expériences. Paris* 1770. Deutsch: Leipzig 1771.)

6. So interessant auch schon die bloße Kenntniß des Stattfindens einer Erscheinung ist, so wird dieses Interesse doch unendlich erhöht, wenn man die Ursachen eines Phänomens aufdeckt oder es erklärt. Man ist aber nicht im Stande, die Ursachen aller Erscheinungen aufzufinden, sondern man muß sich oft damit begnügen, einen dem gewöhnlichen Gange der Natur gemäßen Grund vorauszusetzen und zu versuchen, ob sich daraus die Erscheinungen erklären lassen. Solche Voraussetzungen heißt man Hypothesen.

So z. B. nehmen viele zur Erklärung der Erscheinungen des Sehens einen eigenen Lichtstoff an, der von leuchtenden Körpern ausgeht und in unser Auge eindringt, so daß nach dieser Ansicht der Gesichtssinn auf ähnliche Weise afficirt wird, wie der Geruchssinn, von dem erwiesen ist, daß er durch feine Ausflüsse aus riechenden Körpern angeregt wird. Aehnliche Voraussetzungen macht man über die Wärme, die Elektricität, den Magnetismus.

7. Wenn eine Hypothese die Erscheinungen leicht, einfach, ohne Umschweife und Hilfshypothesen erklärt und keiner anerkannten Wahrheit widerspricht; so kann sie so lange dem wahren Grunde substituirt werden, als dieser noch verborgen ist. Als wahre Ursache kann eine solche Voraussetzung erst dann gelten, wenn sie entweder als Erscheinung vorkommt, oder die Erscheinungen nicht bloß im Allgemeinen und der Qualität, sondern auch der Quantität nach erklärt, mithin, der Rechnung unterworfen, Resultate gibt, die mit der Erfahrung übereinstimmen, oder endlich, wenn bewiesen ist, daß die Erscheinungen in ihrem Zusammenhange nicht anders erklärt werden können.

Die Annahme eines von leuchtenden Körpern ausstrahlenden Lichtstoffes ist keine glückliche Hypothese, denn sie erklärt die Erscheinungen nur mittelst vieler Hilfshypothesen; eben so verhält es sich mit der Annahme negativ schwerer Körper, denn sie widerspricht der Erfahrung, welche lehrt, daß alles, dessen Materialität erwiesen ist, positiv schwer sey. Die Luftelektricität war so lange ein bloß hypothetisches Wesen, bis Franklin ihr Daseyn faktisch nachwies; die elliptische Bewegung der Planeten um die Sonne ist keine Hypothese mehr, weil sich

aus ihr und nur aus ihr allein alle dahin gehörenden Erscheinungen, der Größe nach, genau so ergeben, wie sie die Erfahrung nachweiset.

8. Wenn man eine Hypothese sorgfältig braucht und nie vergißt, daß man es nicht mit einem wahren Grunde zu thun hat; so ist sie für die Wissenschaft von großem Nutzen, denn man kann mit ihrer Hilfe Erscheinungen in einen Zusammenhang bringen, die sonst als ein Chaos unübersehbar wären, ja sogar die Erklärung derselben vorbereiten. Die Geschichte der Physik liefert mehrere Beispiele, welche dieses bestätigen.

Die hypothetische Voraussetzung eines elektrischen Fluidums gibt einen sicheren Wegweiser durch das ganze weitläufige Gebiet der elektrischen Erscheinungen ab; aus ihr hat man sogar die Einrichtung der Blitzableiter erkannt, welche sich bis jetzt noch immer als zweckmäßig bewährt hat.

9. Häufig ist die Ursache einer Erscheinung selbst wieder ein Phänomen, bedarf daher eines neuen Grundes. Dieser setzt, wenn er in der Erfahrung vorkommt, wieder einen neuen Grund voraus, so daß man endlich durch eine Reihe von Erscheinungen, deren jede zugleich Ursache und Wirkung ist, auf einen letzten übersinnlichen Grund kommt, der im Innern der Natur seine Wurzel hat. Man nennt ihn Kraft, ohne durch diesen Ausdruck mehr als eine uns, dem Wesen nach, ganz unbekannte Ursache einer Erscheinung bezeichnen zu wollen.

Ein mit erwärmter Luft gefüllter Luftballon steigt in die Höhe, weil ihn die atmosphärische Luft stärker in die Höhe drückt, als er durch sein Gewicht zu fallen sucht; jener Druck ist aber stärker als dieses Gewicht, weil warme Luft spezifisch leichter ist, als kältere; jene ist leichter als diese, weil sie dünner ist; sie ist dünner, weil die Wärme eine ausdehnende Kraft besitzt, die wir nicht weiter zu erklären vermögen.

10. Die Erscheinungen, welchen wir unmittelbar Kräfte zu Grunde legen müssen, sind so mannigfaltig, daß wir, wenigstens vor der Hand, nicht alle derselben aus einer einzigen Quelle abzuleiten vermögen. Wir nehmen deßhalb für jede zusammengehörige Reihe von Erscheinungen, die wir nicht weiter erklären können, eine besondere Kraft an, und benennen sie nach der letzten dadurch zu erklärenden Erscheinung. So spricht man von einer Schwerkraft, von einer Adhäsionskraft u. dgl., um dadurch den letzten Grund der Schwere, der Adhäsion u. dgl. zu bezeichnen. Vergleicht man alle Erscheinungen mit einander, und bedenkt, daß bei jeder derselben eine Bewegung vor sich geht, bei welcher entweder gegenseitige Annäherung oder Entfernung materieller Theilchen Statt hat; so findet man hierin eine völlige Rechtfertigung für die Annahme, daß die Anziehungs- und Abstoßungskraft die Grundkräfte der Natur sind, alle anderen aber als davon abgeleitete Kräfte betrachtet werden müssen. Diese Kräfte sind der letzte Grund der Bewegungen der Körper, welche Bewegungen theils für sich, theils in ihren Beziehungen

auf unsere Sinne, das Object der wichtigsten Forschungen der Naturlehre ausmachen.

11. Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen ist, daß es Naturkräfte geben muß, weil die Erscheinungen der Körperwelt doch irgend einen letzten, im Wesen der Natur liegenden Grund haben; so sind doch die meisten, vielleicht alle bis jetzt angenommenen Naturkräfte, insbesondere betrachtet, nichts als Hypothesen. Denn es ist nicht erwiesen, daß Erscheinungen, welche jetzt für die letzten gehalten werden, nicht doch eine empirische Quelle haben.

12. Das Daseyn derjenigen Erscheinungen, denen wir keinen weitern sinnlichen Grund als Ursache unterzulegen im Stande sind, sammt der Art und Weise, nach der sie erfolgen, sehen wir als eine im Wesen der Natur liegende Einrichtung an, und sagen, das Stattfinden einer solchen unerklärbaren Erscheinung sey ein Naturgesetz. Die Erforschung der Naturgesetze ist der höchste Zweck der Naturlehre, und man kann mit Zuversicht behaupten, daß man im Gebiete dieser Wissenschaft desto weiter gekommen ist, auf je weniger Naturgesetze alle wahrnehmbaren Erscheinungen zurückgeführt werden können.

13. Von den hier bezeichneten Naturgesetzen lassen sich besonders mit Hilfe der Mathematik andere Gesetze ableiten, die nicht selten von der größten Erheblichkeit sind. Man bringt zu diesem Zwecke die aus der Erfahrung bekannten Thatsachen in einen mathematischen Ausdruck, dessen Form durch das schon bekannte Naturgesetz gegeben ist, wendet hierauf die Kunstgriffe an, mit denen uns der Scharfsinn der großen mathematischen Geister so reichlich versehen hat, und findet so als Resultat der Rechnung ein neues Gesetz.

Hier zeigt sich die Wichtigkeit der Mathematik für den Physiker von der schönsten Seite, und beweiset unwidersprechlich, daß in den Naturwissenschaften nicht mehr Wissenschaft als Mathematik enthalten sey. Die Erfahrung lehrt, daß ein langer Metalldraht, durch welchen Elektricität strömt, auf eine Magnetnadel mit einer Kraft wirkt, welche in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel wächst. Wendet man auf dieses Gesetz die mathematische Analysis an, so kann man daraus ableiten, daß die Kraft, mit welcher ein Element dieses Drahtes auf die Magnetnadel wirkt, abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst. Durch Erfahrung hätte man dieses Gesetz nie unmittelbar finden können, weil man mit einzelnen Elementen keinen Versuch machen kann.

14. Die Physik hat, obgleich sie, einige wenige Bestrebungen der älteren Zeit abgerechnet, ausschließend das Werk der letzten Jahrhunderte ist, durch das Zusammenwirken geistreicher Männer eine bewunderungswürdige Ausdehnung erlangt, und ein Menschenleben ist jetzt nicht mehr hinreichend, die täglich sich mehrenden Schätze des physikalischen Wissens vollständig zu übersehen. Deßhalb ist man genöthigt, zum Behufe des Unterrichtes, die durch Faßlichkeit sich auszeichnenden Hauptlehren unter der Benennung Elementarphysik zusammen zu fassen, und hiedurch zum Studium der höheren Physik vorzubereiten. Die Elementarphysik heißt insbesondere Experimental-

Physik, wenn sie die Richtigkeit ihrer Behauptungen mehr durch Hinweisung auf Thatsachen, welche sich an Experimenten vor Augen stellen, zu rechtfertigen sucht, als durch Ableitungen der Gesetze der Erscheinungen aus den ersten Gründen mittelst mathematischer Deductionen, im Gegensatze mit der theoretischen Physik, welche der mathematischen Methode sich bedient. Auch werden, der Reichhaltigkeit des Materials wegen, einzelne Zweige der Naturlehre als für sich bestehende Wissenschaften bearbeitet. Hierauf gründet sich die Zerfällung der Naturlehre in die mechanische, welche es mit den räumlichen Veränderungen der Körper, die in ihrer Allgemeinheit aufgefaßt nichts als Bewegungen sind, zu thun hat, und in die chemische Naturlehre oder Chemie, welche von den Veränderungen der inneren materiellen Beschaffenheit handelt. Aber auch einzelne Partien der mechanischen Naturlehre lassen sich als besondere Wissenschaften darstellen, dergleichen die Mechanik, Optik, Astronomie u. s. w. sind. Daß eine absolute Trennung dieser Wissenschaften im Vortrage nicht möglich sey, ist klar. Im vorliegenden Werke, welches den Anfangsgründen der theoretischen Physik gewidmet ist, wird das Wesentlichste aller hier genannten Wissenschaften vorgetragen, und es hat daher zur Aufgabe, die allgemeinen Veränderungen der Körperwelt zu erklären und ihre Gesetze nachzuweisen.

Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen ist, daß wir nur durch Erfahrung zur Kenntniß der Körperwelt gelangen, so stammt doch nicht unsere gesammte Kenntniß derselben aus der Erfahrung. Es trägt nämlich diese Kenntniß immer das Gepräge des anschauenden und denkenden Subjectes an sich, da wir Dinge außer uns nur der, allen Menschen gemeinschaftlichen Form der Sinnlichkeit gemäß anschauen, und über so gewonnene Anschauungen nur nach Regeln denken können, die in der Natur unseres Verstandes gegründet sind. Kennen wir die Gesetze unseres Denk- und Anschauungsvermögens, so sind wir im Stande, den a priori, d. i. unabhängig von der Erfahrung bestehenden Theil unserer naturwissenschaftlichen Erkenntniß von dem empirischen, d. i. lediglich durch Erfahrung gegebenen zu sondern. Der erstere macht die reine Naturlehre aus, im Gegensatze mit der Erfahrungsnaturlehre, deren Quelle sinnliche Wahrnehmungen sind. Wenn sich auch das vorliegende Werk vorzugsweise mit letzterer beschäftiget, so kann doch erstere nicht ausgeschlossen werden, weil zur richtigen Anwendung der Erfahrungssätze Prinzipien a priori nöthig sind, und weil bloße Erfahrung keine strenge Allgemeinheit, mithin keine wissenschaftliche Festigkeit gewährt.

15. Der Nutzen, den die Naturlehre dem Menschen als Mitglied eines Staates oder als moralischem Wesen verschafft, ist so groß, daß er hier nur kurz angedeutet, keineswegs erschöpfend aus einander gesetzt werden kann. Alle technischen Gewerbe sind ihrer Vollkommenheit desto näher, je mehr das bei ihrer Ausübung gebräuchliche Verfahren auf den Naturgesetzen beruht, mit deren Entwicklung sich die Physik beschäftiget; der Ackerbau bedarf derselben Gesetze, um seine Producte nachhaltig zu gewinnen und seine Kräfte zweckmäßig anzuwenden; der Handel zu Wasser und zu Lande nimmt die Naturlehre

in Anspruch, und dieselbe Wissenschaft ist es, welche die Waffe schmieden und führen lehrt, die den Feind des Vaterlandes im Zaume hält. Nicht kleiner ist der moralische Nutzen der Naturlehre: Sie ist die Lehrerin der Klugheit, indem sie die Erfolge mancher Ereignisse voraussehen lehrt; sie predigt Demuth und Bescheidenheit, indem sie uns die Größe und Herrlichkeit der Natur und die Unmöglichkeit sie ganz zu begreifen darstellt; sie zeigt aber auch die Größe des menschlichen Geistes von der schönsten Seite und flößt Vertrauen zu unseren Kräften ein. Man kann mit vollem Rechte von der ganzen Physik das sagen, was ein großer Genius der Deutschen von einem ihrer Theile, der Sternkunde, sagt: Daß sie dem Menschen ein erhabenes Herz gibt, und ein Auge, das über die Erde hinausreicht, und Flügel, die in die Unermeßlichkeit heben, und einen Gott, der nicht endlich, sondern unendlich ist.

Erster Abschnitt.

Von Körpern überhaupt.

Erstes Kapitel.

Allgemeine Eigenschaften der Körper.

16. Wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf die Eigenschaften der Naturdinge richten, so finden wir, daß einige derselben allen Körpern zukommen. Wir nennen sie allgemeine Eigenschaften derselben. Sie sind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Beweglichkeit und Trägheit, Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit, Porosität, Theilbarkeit und Schwere.

17. Alles Körperliche existirt für uns im Raume, ist also ausgedehnt, und hat, weil es in seiner Ausdehnung begrenzt ist, eine gewisse Form der Begrenzung, d. i. eine bestimmte Gestalt oder Figur. Denkt man sich aus dem Raume, den ein Körper einnimmt, die Materie hinweg, so bleibt die Vorstellung des sogenannten leeren Raumes oder des geometrischen Körpers übrig. Was die Geometrie von diesem lehrt, bezieht sich demnach auch auf den Raum eines physischen Körpers, und zwar auf seine Größe und die mit diesem Raume zugleich gegebenen Flächen, Linien und auf seine Figur. Der Raum, den ein Körper einnimmt, lediglich in Hinsicht auf seine Größe betrachtet, heißt dessen Rauminhalt oder Volum. Man muß, um es nach den Vorschriften der Geometrie messen und durch eine Zahl ausdrücken zu können, ein bestimmtes Volum als Einheit annehmen. Die Erfahrung lehrt, daß die Figuren der Körper höchst mannigfaltig und sehr oft regelmäßig oder wenigstens symmetrisch seyen, wie man an allen krystallisirten Körpern des Mineralreiches und an unzähligen Producten der organischen Reiche, am Gewebe feiner Häute, an Schmetterlingsflügeln, Haaren vom Maulwurfe, Reh rc. bemerkt, in welcher Beziehung mikroskopische Beobachtungen besonders lehrreich sind, und häufig da die größte Ordnung erkennen lassen, wo das unbewaffnete Auge keine Spur davon wahrnimmt. Manche Körper zeigen eine selbstständige Gestalt, andere hingegen richten sich immer nach dem Gefäße, dessen sie zu ihrer Aufnahme bedürfen.

Die schicklichste Einheit zur Ausmessung der Rauminhalte der Körper gründet sich auf die Einheit, mittelst welcher die Längen gemessen werden, welche eine gerade Linie von festgesetzter Länge ist. Das Quadrat, dessen Seite dieser Längeneinheit gleich ist, dient als Einheit der Flächen, und der Würfel, welcher die Längeneinheit zur Seite

hat, als Einheit der Volume. Als Längeneinheit wird, um sowohl allzu große Zahlen, wie auch allzu kleine Brüche zu vermeiden, nicht stets dieselbe Länge angenommen, nur müssen die verschiedenen Längen, deren man sich zu diesem Behufe bedient, in bestimmten Verhältnissen stehen, damit man die Resultate der Messung oder Rechnung nach einer dieser Einheiten, wenn es nöthig ist, in jene umsetzen kann, welche auf der Annahme einer andern Einheit beruhen. Ueberdieß ist die lineare Einheit in verschiedenen Ländern hinsichtlich der Größe, Eintheilung und Benennung der Theile und Vielfachen verschieden. Wir werden uns im Folgenden größtentheils des sogenannten Wiener Maßes bedienen. Die Grundlage des Wiener Längenmaßes ist die Klafter, sie wird bekanntlich in 6 gleiche Theile, Schuh oder Fuß genannt, eingetheilt. Der Fuß enthält 12 Zoll, der Zoll 12 Linien, die Linie 12 Punkte; häufig aber gibt man nur Decimaltheile der Klafter, des Schuhes, Zolles, der Linie an. Eine Wiener Elle ist = 2,465 Fuß = 29,58 Zoll = 29 Zoll 6,96 Linie. 4000 Wiener Klafter machen eine österreichische Postmeile aus.

Die Grundlage des Flächenmaßes ist die Quadratklafter, d. h. die Fläche eines Quadrates dessen Seite eine Klafter beträgt. Die Quadratklafter faßt daher 6 × 6 = 36 Quadratfuß, der Quadratfuß 12 × 12 = 144 Quadratzoll, der Quadratzoll 144 Quadratlinien. Es kommen daher auf den Quadratfuß 144 × 144 = 20736 Quadratlinien, und auf die Quadratklafter 36 × 144 = 5184 Quadratzoll oder 5184 × 144 = 746496 Quadratlinien. Ein Joch Feldmaß hat 1600 Quadratklafter, oder ist einem Quadrate von 40 Klafter Seite gleich.

Der Würfel, dessen Seite eine Klafter ist, heißt Kubikklafter, und enthält 6^3 = 216 Kubikfuß, der Kubikfuß enthält $(12)^3$ = 1728 Kubikzoll, der Kubikzoll 1728 Kubiklinien. Es kommen also auf den Kubikfuß $(1728)^2$ = 2985984 Kubiklinien, und auf die Kubikklafter 216 × 1728 = 373248 Kubikzolle. Ein Wiener Eimer faßt 1,792 Kubikfuß, und enthält 40 Maß, jede zu 4 Seitel. Eine Maß enthält demnach 0,0448 Kubikfuß oder 77,4144 Kubikzoll; ein Kubikfuß 22,32 Maß. Ein Wiener Metzen beträgt 1,9471 Kubikfuß.

Nächst der Kenntniß des Wiener Maßes ist noch jene des in neueren Untersuchungen häufig vorkommenden neufranzösischen oder metrischen Maßes unentbehrlich. Als Grundlage desselben dient der Meter (Mètre), dessen Länge dem zehnmillionsten Theile des nördlichen Meridianquadranten der Erde gleichkommt. Der zehnte Theil des Meter heißt Decimeter, der hundertste Centimeter, der tausendste Millimeter. Zehn Meter geben einen Dekameter, zehn Dekameter oder hundert Meter einen Hektometer, zehn Hektometer oder tausend Meter den Kilometer, zehntausend Meter den Myriameter. Bei allen übrigen Einheiten dieses Maßes, welche als selbstständige angesehen und mit eigenen Namen belegt werden, findet dieselbe Bezeichnung des zehnten, hundertsten, tausendsten Theiles durch Vorsetzung der Sylben Deci, Centi, Milli, und der Zehnfachen, Hundertfachen, Tausendfachen durch Vorsetzung der Sylben Deka, Hekto, Kilo Statt. Der Umstand, daß sämmtliche Eintheilungen und Vervielfältigungen dekadisch fortschreiten, erleichtert die Reduction höherer Einheiten auf niedrigere, und umgekehrt dieser auf jene, ungemein. Das Quadrat, dessen Seite 10 Meter faßt, wird unter der Benennung Are als Feldmaß gebraucht. Ein Hektare macht daher 10000 Quadratmeter aus. Der Kubikmeter heißt Stere, der Kubikdecimeter heißt Liter. Ein Kiloliter ist folglich einem Kubikmeter gleich.

Zur Vergleichung des Wiener Maßes mit dem metrischen und umgekehrt dienen folgende Angaben. Es ist 1 Wiener Fuß = 0,3161023

Meter, folglich 1 Wiener Zoll = 0,0263418 Meter, 1 Wiener Linie = 2,195 Millimeter, und umgekehrt 1 Meter = 3,163532 Wien. Fuß = 3 Fuß 1 Zoll 11,549 Linien; 1 Decimeter = 3,79624 Wien. Zoll = 3 Zoll 9,5549 Linien; 1 Centimeter = 4,5555 Wien. Linien; 1 Millimeter = 0,4555 Wien. Linien. Ein Liter beträgt 54,7093 Wien. Kub. Zoll oder 2,827 Wien. Seitel.

Außer den oben genannten Maßen kommt noch das altfranzösische oder Pariser Maß vor. Die Eintheilung der Pariser Toise ist jener der Wiener Klafter ähnlich. Man verwandelt Pariser Toisen, Fuß, Zoll, Linien in Wiener Klafter, Fuß, Zoll, Linien, wenn man die Anzahl ersterer mit 1,02764 multiplicirt. Umgekehrt wird Wiener Maß durch Multiplication mit 0,973103 in gleichnamiges Pariser Maß umgesetzt. Eine Toise ist = 1,94904 Meter und ein Meter = 0,513074 Toisen. Ein englischer Fuß enthält 0,3048 Meter, ein preußischer Fuß 0,3138 Meter, ein bayerischer Fuß 0,2919 Meter.

Zur Bestimmung linearer Ausdehnungen bedient man sich guter Maßstäbe, die, um die Schärfe der Messung möglichst weit zu treiben, mit einem Nonius oder Vernier versehen sind.

Nonius heißt eine, in gleiche Theile getheilte Linie, die sich an einem Maßstabe verschieben läßt, und dazu dient, kleinere Theile zu messen, als unmittelbar am Maßstabe selbst mit Deutlichkeit ersichtlich gemacht werden könnten. Ist a der Abstand zweier unmittelbar auf einander folgenden Theilstriche des Maßstabes, und dieser Abstand in n gleiche Theile zu theilen, so erhält der Nonius die Länge $(n + 1)a$ oder auch $(n - 1)a$, und wird in n gleiche Theile getheilt. Die Länge eines Noniustheiles ist im ersten Falle $= \frac{(n+1)a}{n} = a + \frac{a}{n}$ und im zweiten $= \frac{(n-1)a}{n} = a - \frac{a}{n}$, mithin im ersten Falle um $\frac{a}{n}$, d. h. gerade um den Längentheil, welchen man bei der Messung mit dem Maßstabe noch berücksichtigen will, größer, und im zweiten um eben so viel kleiner, als a, wornach der Abstand zweier beliebigen Theilstriche auf den Nonius sehr leicht in Theilen des Maßstabes angegeben werden kann. Wird nun der Maßstab sammt Nonius an eine zu messende Linie dergestalt angelegt, daß der Anfangspunkt des Maßstabes mit dem einen Grenzpunkte, und einer der beiden äußersten Theilstriche des Nonius mit dem anderen Grenzpunkte dieser Linie zusammenfällt, so hat man nur darauf zu sehen, welcher Theilstrich des Nonius mit einem Theilstriche des Maßstabes so nahe zusammenfällt, daß man den einen als die Verlängerung des anderen betrachten kann. Da man die Entfernung dieses gemeinschaftlichen Theilstriches vom Anfangspunkte des Maßstabes und von jedem der äußersten Theilstriche des Nonius kennt, so kann hieraus die Länge der zu messenden Linie leicht abgeleitet werden, und der Fehler der Messung wird nicht größer seyn als $\frac{a}{2n}$. Man kann sich dabei stets so benehmen, daß dieses Geschäft auf einer einfachen Addition beruht, wie aus folgendem Beispiele zu ersehen ist: Es seyen bei der Messung mit einem Maßstabe, worauf Linien verzeichnet sind, mittelst des Nonius nach Zehntel einer Linie anzugeben, so kann die Länge des Nonius entweder 11 oder 9 Linien betragen, und diese Länge erscheint auf dem Nonius in 10 gleiche Theile getheilt. Der Unterschied zwischen einem Intervall des Maßstabes und des Nonius ist sodann $^1/_{10}$ Linie. Wäre nun, vorausgesetzt, daß die Länge des Nonius = 11 Linien angenommen worden, mittelst eines so eingerichteten Maßstabes die Linie AB (Fig. 1) zu messen.

und fände man, daß, wenn man das Ende A mit dem Anfangspunkte des Maßstabes a b zusammenfallen läßt, das andere Ende B zwischen zwei Theilstriche des Maßstabes fällt, so darf man nur den Nonius c d dahin verschieben, daß ein Ende desselben mit B zusammenfällt. Trifft nun der erste, zweite, dritte rc. Theilstrich des Nonius in die Verlängerung eines Theilstriches des Maßstabes, so ist das durch den Nonius zu messende Stück = $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ rc. einer Linie. Es ist klar, daß man auf ähnliche Weise auch Stücke von Kreisbögen mittelst Nonien messen kann.

18. Alle für uns erkennbaren Körper füllen einen Raum so aus, daß in demselben zu gleicher Zeit kein anderer seyn kann, d. i. sie sind undurchdringlich. Daher steigt das Wasser in einem Gefäße, wenn man einen Stein hineinwirft; eine Flüssigkeit läßt sich nur in ein anderes Gefäß überfüllen, wenn die Luft daraus entweichen kann; in einem verschlossenen, luftdichten Cylinder läßt sich der Kolben nie bis zum Boden hinabdrücken.

Auf dieser Eigenschaft beruht der Unterschied zwischen mathematischen und physischen Körpern, die Sperrbarkeit der Materie u. s. w., unter andern auch eine zu vielen Zwecken recht brauchbare Vorrichtung, die Taucherglocke. Diese besteht aus einem großen, luftdichten, auf einer Seite offenen, einer umgestürzten Tonne ähnlichen Gefäße, welches mit der Oeffnung auf das Wasser gesetzt und so versenkt werden kann, ohne daß es vom Wasser erfüllt wird. Halley verweilte mittelst einer solchen Glocke mit noch vier anderen Personen $1^1/_2$ Stunde auf dem Meeresgrunde. Die allgemeine Anwendbarkeit dieser Vorrichtung wird aber dadurch beschränkt, daß die Luft in der Glocke bald durch das Athmen verdorben wird, und daß man sich, wegen der zu starken Verdichtung der Luft und des daraus entstehenden Druckes auf den menschlichen Körper, nicht in bedeutende Tiefen wagen darf.

19. Jeder Körper kann seinen Ort verlassen und in einen anderen übergehen, d. h. sich bewegen. Man rechnet darum die Beweglichkeit zu den allgemeinen Eigenschaften der Körper. Aber weder der Uebergang von Ruhe in Bewegung noch jener von der Bewegung in Ruhe, oder von einer Bewegung in eine andere, kann von dem betreffenden Körper selbst hervorgebracht werden, sondern dazu ist immer eine besondere von jenem Körper verschiedene Ursache nothwendig. Man nennt das Unvermögen der Körper, den Zustand der Ruhe oder Bewegung selbstthätig zu ändern, die Trägheit, und sieht auch diese als eine allgemeine Eigenschaft der Körper an. Undurchdringlichkeit und Trägheit sind die Eigenschaften, welche dem Materiellen ausschließend zukommen, und es unterscheidet erstere das Physische vom Mathematischen, letztere das Materielle vom Immateriellen.

Die Trägheit der Körper wird uns von der Erfahrung in unzähligen Fällen, ja man kann sagen, bei jeder Bewegung vor Augen gestellt. Daß z. B. eine Kugel auf ebenem Boden desto weiter fortlauft, je glatter dieser Boden ist, daß man sich, wenn man von einer Anhöhe herabgelaufen ist, in der Ebene nur schwer zurückhält, rührt von der Trägheit her. Den besten empirischen Beweis für diese Eigenschaft liefert die durch Jahrhunderte unverändert fortdauernde Bewegung der Himmelskörper.

20. Dasjenige, was einen Körper bewegt oder zu bewegen sucht, nennt man **Kraft**. Eine solche wird immer als etwas von dem betreffenden Körper Verschiedenes gedacht, ohne darum immer etwas von **Außen** auf ihn Wirkendes zu seyn. Die sogenannten willkürlichen Bewegungen der Thiere, viele Bewegungen der Pflanzen erfolgen durch etwas in ihrem Organismus befindliches, das wir aber immer von dem Trägen, welches bewegt wird, als verschieden denken. Wenn eine Kraft auch nur einen Augenblick, wie durch einen Stoß, auf ein Bewegliches wirkt, so bringt sie dasselbe, falls kein Hinderniß vorhanden ist, in Bewegung, und ertheilt ihm zugleich das Bestreben, dieselbe unverändert fortzusetzen. Dieses Bestreben nennt man **Geschwindigkeit**. Es äußert sich dadurch, daß sich das Bewegliche, wenn kein Hinderniß vorhanden ist, wirklich ohne Unterlaß nach derselben Richtung fortbewegt, und in einer bestimmten Zeit einen bestimmten Weg zurücklegt. Der numerische Ausdruck des Weges, der in einer Zeiteinheit, z. B. in 1 Secunde zurückgelegt wird, ist zugleich jener der Geschwindigkeit, so daß z. B. diese Geschwindigkeit = 3 ist, wenn der in 1 Secunde zurückgelegte Weg drei Längeneinheiten beträgt. Die Geschwindigkeit = 1 ist demnach jene, vermöge welcher in einer Zeiteinheit ein Weg = 1 gemacht wird. Daß dieselbe Kraft demselben Beweglichen immer dieselbe Geschwindigkeit ertheilt, wenn sie es von der Ruhe in Bewegung bringt, ist für sich klar, die Erfahrung lehrt aber, daß selbst der Zuwachs an Geschwindigkeit, den eine Kraft einem schon in Bewegung begriffenen Beweglichen zu Theil werden läßt, jener Geschwindigkeit gleicht, welche dieselbe Kraft dem ruhenden Beweglichen zu ertheilen vermag. Verschiedene Kräfte ertheilen demselben Beweglichen verschiedene Geschwindigkeiten, und zwar sind der Erfahrung zu Folge die Geschwindigkeiten den Kräften proportionirt. Folgende Betrachtung führt zu einer klaren Einsicht dieser Wahrheit: Zwei Kräfte, die auf denselben Punkt nach entgegengesetzten Richtungen wirkend, sich gegenseitig aufheben, müssen für **gleich** angenommen werden. Nimmt man irgend eine Kraft als Einheit an, so müssen offenbar zwei solche nach derselben Richtung wirkende Kräfte die Kraft = 2, drei solche die Kraft = 3, und allgemein n solche die Kraft = n vorstellen. Man sieht demnach, wie man Kräfte numerisch ausdrücken kann. Läßt man nun hinter einander mehrere numerisch bestimmte Kräfte auf ein Bewegliches wirken, bestimmt die durch jede derselben erzeugte Geschwindigkeit, und vergleicht die Zahlenwerthe dieser Größen mit jenen der Kräfte, so findet man, daß die ersteren den letzteren proportionirt seyen. Dabei wird aber vorausgesetzt, daß die Kräfte auf dasselbe Bewegliche wirken. Wirkt dieselbe Kraft successiv auf verschiedene Bewegliche, so ertheilt sie nicht jedem dieselbe Geschwindigkeit. Da nämlich jedes materielle Theilchen wegen seiner Trägheit eigens bewegt werden muß, mithin jedes derselben einen eigenen Kraftaufwand fordert, so wird die Geschwindigkeit des Ganzen desto kleiner ausfallen, je mehr materielle Theile es enthält, oder wie man zu sagen pflegt, je größer seine **Masse** ist. Umgekehrt wird

man schließen können, daß zwei Massen, die von derselben Kraft dieselbe Geschwindigkeit erhalten, gleich seyen. Eine Masse, die von der Kraft = 1 die Geschwindigkeit = 1 erhält, gibt die Einheit ab, nach welcher alle anderen Massen gemessen werden. Sind demnach M und m zwei Massen, C und c die Geschwindigkeiten, welche sie durch irgend eine Kraft erhalten, so hat man $M : m = c : C$ oder $MC = mc$. Ein solches Product aus der Masse in ihre Geschwindigkeit heißt Größe der Bewegung. Ertheilen die Kräfte P und p den Massen M und m die Geschwindigkeiten C und c, so ist demnach $P : p = MC : mc$ oder für $p = 1$, $m = 1$, $c = 1$, $P = MC$. Es ist daher der numerische Ausdruck der Größe der Bewegung zugleich jener der Kraft, welcher dieser Größe entspricht. Kräfte, die nicht wie die bisher betrachteten momentan, sondern dauernd wirken, heißen beschleunigende Kräfte. Eine solche erzeugt eine desto größere Geschwindigkeit, je länger sie wirkt, und diese Geschwindigkeit wird durch den Weg gemessen, den das Bewegliche in einer Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn es sich selbst überlassen wäre und nicht mehr von der Kraft afficirt würde.

21. Ein und derselbe Körper enthält nicht unter allen Umständen bei demselben Volum gleich viel Masse; denn die Erfahrung lehrt, daß sich der Rauminhalt eines Körpers vergrößern und verkleinern läßt, d. h. daß der Körper ausdehnbar und zusammendrückbar ist. Die Ausdehnung oder Zusammendrückung kann durch mechanische, von Außen angebrachte Kräfte bewirkt werden; das kräftigste Mittel, das Volum eines Körpers zu ändern, ist aber Erwärmung und Erkältung. Durch erstere wird es vergrößert, durch letztere verkleinert. Wenn einige Körper, z. B. Thon, Leder, sich in der Hitze zusammenziehen, statt sich auszudehnen, so kommt dieses auf Rechnung verflüchtigter oder zerstörter Stoffe oder des aufgehobenen Gefüges, und kann deßhalb nicht als der Regel widersprechend angesehen werden.

Befestiget man einen dünnen Stab von Holz, Metall oder einem anderen Stoffe an einem Ende und bringt am anderen ein Gewicht an, das ihn zu verlängern sucht; so bemerkt man auch eine entsprechende Verlängerung desselben. Ein Zwirnfaden, ein Bleidraht, ein Streifen Kautschuk läßt sich schon durch den Zug mit der Hand verlängern. Dabei wird ein solcher Körper allerdings auch dünner, jedoch in einem geringeren Verhältnisse, als er länger geworden ist, so daß also eine wirkliche Vergrößerung des Volums eingetreten ist. Wird ein solcher Körper am unteren Ende aufgestemmt und von oben mit Gewichten belastet, so wird er zusammengedrückt und sein Volum vermindert. Eine metallene Kugel, die genau durch einen Ring geht, so lange sie kalt ist, bleibt in demselben stecken, wenn man sie ohne den Ring erhitzt; füllt man ein Gefäß, das mit einer verhältnißmäßig engen Röhre verbunden ist, mit einer Flüssigkeit so weit an, daß dieselbe in die Röhre reicht, so sieht man sie steigen, wenn Erwärmung eintritt; eine schlaffe Blase schwillt an, wenn sie luftdicht zugebunden ist und einem warmen Ofen genähert wird. Die Zunahme des Rauminhaltes beträgt in der Regel desto mehr, je weiter ein Körper erhitzt wird, mit der Rückkehr der vorigen Wärme stellt sich in der Regel wieder das vorige Volum ein.

22. Weil die Vergrößerung des Rauminhaltes in so genauer Verbindung mit der Erwärmung steht, so schließt man häufig von jener auf diese, ja es ist die Größe der Ausdehnung eines Körpers der sicherste Maßstab für die Größe der Erwärmung (Temperatur); denn die Empfindung, welche ein warmer Körper in uns erregt, und die man vielleicht für den einfachsten und besten Maßstab der Wärme zu halten geneigt seyn dürfte, taugt dazu nicht, weil sie nicht allein von der Temperatur, sondern auch von der Individualität, Gewohnheit, vom Alter, vom vorhergehenden Zustande der Wärme des Empfindenden rc. abhängt, weßwegen ein Körper in demselben Zustande einer und derselben Person bald warm, bald lau, bald kalt erscheinen kann. — Das Instrument, welches zum Messen der Temperatur dient, und auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht, heißt Thermometer. Man bedient sich heut zu Tage drei verschiedener Arten der Thermometer, nämlich der Quecksilber-, Weingeist- und der Luftthermometer. Hier soll nur von den zwei ersten die Rede seyn.

23. Das Quecksilberthermometer besteht aus einer gläsernen, engen, wohl kalibrirten Röhre (Fig. 2), an deren einem Ende ein ihrer Weite angemessenes, meistens kugelförmiges Gefäß angeblasen ist. Dieses wird bis zu einer bestimmten Höhe mit reinem trockenem Quecksilber gefüllt, und alle Luft, die theils im Quecksilber selbst, theils zwischen dem Glase und dem Quecksilber enthalten ist, durch Kochen ausgetrieben. Meistens vertreibt man auch die Luft, welche sich oberhalb des Quecksilbers befindet, und schmilzt dann die Röhre zu; nur selten läßt man sie offen. Ein so weit fertiges Thermometer wird hierauf mit einer Scale versehen. Zu letzterem Zwecke bestimmt man zwei Punkte an der Röhre; den einen (Eispunkt) dadurch, daß man die Röhre in aufthauendes Eis senkt, so lange darin läßt, bis sich die Länge der Quecksilbersäule nicht mehr ändert, und dann den Punkt am Glase anmerkt, der ihrem Ende entspricht; den andern (Siedpunkt), indem man sie in reines, siedendes Wasser hält und eben so verfährt. Die Folge wird lehren, mit welchen Vorsichten letzteres zu geschehen habe. Den Abstand dieser zwei Punkte (Fundamentalabstand) theilt man in gleiche Theile oder Grade, und zwar in 80 nach Réaumur, in 100 nach Celsius, in 180 nach Fahrenheit, und bezeichnet in den ersten zwei Fällen den Eispunkt mit 0, im dritten mit 32, so daß dem Siedpunkte bei der Réaumur'schen Eintheilung die Zahl 80, bei der Celsischen 100, bei der Fahrenheit'schen 180 + 32 = 212 entspricht. Man kann diese Eintheilung in Grade auch noch über dem Siedpunkte und unter 0 fortsetzen, und die Grade unter 0 negative oder Kältegrade nennen, zum Unterschiede von denen über 0, welche man positive oder Wärmegrade heißt. Es gibt auch Thermometer mit ungleich großen Graden. Gay-Lussac lehrte sie zuerst aus ungleich weiten Röhren so verfertigen, daß zwischen je zwei auf einander folgenden Theilstrichen gleiche Theile des Rauminhaltes der Röhre liegen. Man kann gleich an demselben Thermometer mehrere Einthei-

lungen anbringen, und auch die Grade einer Eintheilung in die einer anderen durch eine einfache Rechnung verwandeln.

Nennt man z. B. eine beliebige Anzahl Grade nach Reaumur R, die ihr entsprechende Anzahl nach Celsius C, nach Fahrenheit F, so ist:

$$\tfrac{4}{9}(F - 32) = R,\quad \tfrac{9}{4} R + 32 = F$$
$$\tfrac{4}{5} C = R,\quad \tfrac{5}{4} R = C.$$
$$\tfrac{5}{9}(F - 32) = C,\quad \tfrac{9}{5} C + 32 = F.$$

Nach Delisle's nun wohl veralteter Thermometerscale wird der Fundamentalabstand in 150 gleiche Theile getheilt, der Siedpunkt mit 0, der Eispunkt mit 150 bezeichnet. Newton hat als fixe Punkte seines Leinöhlthermometers den Schmelzpunkt des Eises und die Wärme seines Körpers angenommen und den Abstand in 12 gleiche Theile getheilt. Erst nach dem Jahre 1714 wurde man über die Wahl der fixen Punkte einig, nicht aber über die Eintheilung des Fundamentalabstandes, zu welcher viele Vorschläge gemacht wurden. Das erste Thermometer war ein Luftthermometer; Drebbel, ein holländischer Landmann, soll es im Jahre 1630 erfunden haben.

24. Sollen zwei Quecksilberthermometer übereinstimmend seyn, d. h. sollen sie unter einerlei Umständen übereinstimmende Grade angeben; so müssen sie nicht allein genau auf dieselbe Art in ihren wesentlichen Punkten verfertiget werden, sondern es muß auch das angewendete Quecksilber von gleicher Natur und Reinheit seyn, die Temperaturen des aufthauenden Eises und des siedenden Wassers müssen beständig dieselben bleiben, und sowohl der Eis- als der Siedpunkt unverändert an dieselbe Stelle fallen. Der Erfahrung gemäß ist die Temperatur des reinen zerstoßenen Eises oder des Schnees, von dem Augenblicke an, wo die Schmelzung sichtbar zu werden anfängt, bis dahin, wo sie mit Wasser durchzogen sind, vollkommen constant und zu allen Zeiten dieselbe; mittelst dieses wird daher der Eispunkt genau bestimmt werden können. Die Hitze des siedenden reinen Wassers hängt aber von der Natur des Gefäßes, worin es kocht, vom Drucke der Luft und von der Tiefe der siedenden Schichte unter der Oberfläche des Wassers ab, und es muß darum bei der Bestimmung des Siedpunktes auf jeden dieser Umstände die gehörige Rücksicht genommen werden. Es ist sogar nicht gleichgültig, ob man die Fundamentalpunkte bald nachdem ein Thermometer gefüllt und luftleer gemacht worden, oder einige Monate später bestimmt, und es soll immer letzteres Statt finden, wenn man vermeiden will, daß nicht der Eispunkt mit der Zeit eine kleine Verrückung erleide, und dem Siedpunkte näher rücke.

Man hat erfahren, daß Wasser bei übrigens gleichen Umständen nur in allen metallenen Gefäßen bei demselben Hitzgrade siedet, in gläsernen oder thönernen Gefäßen aber dazu eine höhere, und nicht in allen Gefäßen gleiche Temperatur braucht; deßhalb soll die Bestimmung des Siedpunktes stets in einem Metallgefäße geschehen. Jedoch haben selbst in einem solchen Gefäße nicht alle Schichten des siedenden Wassers einerlei Hitze, sondern diese ist an der obersten Schichte am geringsten, und wächst von oben nach unten so, daß in einem nur etwas tiefen Gefäße zwischen der Hitze der obersten und untersten Schichte ein sehr bedeutender Unterschied herrscht. Die Temperatur der ober-

sten Wasserschichte hat auch der Dampf über dem Wasser, vorausgesetzt, daß er sich reichlich entwickelt und nicht durch eine zu große Oeffnung entweichen kann. Darum bestimmt man den Siedpunkt am besten im Dampfe, unmittelbar über der Fläche des siedenden Wassers. Ist das Kochgefäß so eingerichtet, daß der Dampf erst abwarts steigen muß, um ins Freie gelangen zu können, so nimmt selbst im empfindlichsten Instrumente das Quecksilber einen vollkommen stationären Stand an, und läßt über den wahren Ort des Siedpunktes gar keine Unsicherheit übrig. Aber sowohl der Wasserdampf als die oberste siedende Wasserschichte haben nur bei demselben Luftdrucke dieselbe Temperatur, und werden desto heißer, je größer der Luftdruck ist. Die Folge wird lehren, daß man diesen Druck durch den Stand des Barometers erkennt. Deßhalb soll man den Siedpunkt entweder nur bei einem bestimmten Barometerstande, nämlich bei dem von 28 Pariser Zoll bestimmen, oder den bei einem anderen Stande gefundenen auf jenen reduciren. So lange das Barometer über 26 Pariser Zoll steht, findet man den Fundamentalabstand für jede Pariser Linie, um welche der Luftdruck größer als 28 Pariser Zoll ist, um 0.0007 zu groß, und für jede Linie unter 28 Pariser Zoll um eben so viel zu klein. Beim Füllen eines Thermometers wird nothwendig der Quecksilberbehälter einer hohen Temperatur ausgesetzt und bedeutend erweitert. Der Erfahrung zu Folge erlangt er nicht gleich, nachdem er wieder erkaltet ist, genau seine vorige Größe, und das Quecksilber steht darum verhältnißmäßig zu tief. Beim Luftleermachen wird derselbe aber durch den äußeren Luftdruck zusammengepreßt und dadurch wieder verengert. Meistens wird durch diese Verkleinerung die von der starken Erhitzung herrührende Vergrößerung compensirt. Bestimmt man daher den Eispunkt eines Thermometers bald nach dem dieses gefüllt und luftleer gemacht worden, so fällt er in der That auf seine gehörige Stelle. Allein nach einiger Zeit (nach etwa vier Monaten) verliert sich die von der Erhitzung herrührende Vergrößerung des Quecksilberbehälters, während die vom Luftdrucke herrührende Verkleinerung desselben fortdauert, und so kommt es, daß nach dieser Zeit der Eispunkt dem Siedpunkte näher gerückt erscheint. Wenn man den Eispunkt erst wenigstens vier Monate nach dem Füllen des Thermometers bestimmt, so hat man eine solche Verrückung des Eispunktes nicht mehr zu befürchten; aber wenn das Instrument einer starken Erhitzung (bis auf etwa 300°) ausgesetzt wird, tritt eine ähnliche Vergrößerung des Quecksilberbehälters wie beim ersten Füllen neuerdings ein, verschwindet aber wieder nach mehreren Monaten. (Siehe Gintl in Zeitschr. n. F. 55 u. 117.)

25. **Weingeistthermometer** sind den Quecksilberthermometern ganz ähnlich, werden auch auf gleiche Weise verfertigt, nur mit dem Unterschiede, daß man als thermometrische Flüssigkeit statt Quecksilber starken (36 — 40gradigen) gefärbten Weingeist nimmt. Wiewohl dieser für sich im Freien schon unter 100° C siedet, so kann man doch Weingeistthermometer verfertigen, welche ohne Gefahr des Zerspringens die Hitze des siedenden Wassers aushalten. Man braucht sie nur ganz luftleer zu machen. Die entstehenden Weingeistdünste hindern durch ihren Druck das Sieden des Weingeistes, und haben doch nicht Kraft genug, ein starkes Glas zu zerreißen. Es ist wohl an sich klar, daß ein Weingeist- und ein Quecksilberthermometer nicht mit einander übereinstimmen werden. Oberhalb des Eispunktes ist der Gang des Wein-

geistthermometers weniger regelmäßig als jener eines Quecksilberthermometers; unter dem Eispunkte befolgt aber jenes einen eben so regelmäßigen, ja in der Nähe des Gefrierpunktes des Quecksilbers sogar einen richtigeren Gang als dieses.

Zur Angabe der höchsten und niedrigsten Temperatur, welche während einer gewissen Zeit Statt fand, dient Rutherford's Maximum- und Minimum-Thermometer (Fig. 3). Es besteht aus zwei an derselben Fassung befestigten horizontal liegenden Thermometern a und b, deren eines Quecksilber, das andere Weingeist enthält. In der Röhre des Quecksilberthermometers befindet sich ein kleiner Cylinder von Eisen oder Stahl, der sich ohne merkliche Reibung darin bewegen kann. Diesen treibt die Quecksilbersäule vor sich hin, und läßt ihn an dem höchsten Punkte der Scale liegen, wodurch das Maximum der Temperatur angezeigt wird. In der Röhre des Weingeistthermometers hingegen ist ein solcher Cylinder aus Glas oder Email angebracht, der im Weingeiste ganz eingetaucht schwimmt. Zieht sich der Weingeist zusammen, so nimmt die Oberfläche desselben diesen Zeiger mit fort, so wie sich aber die Weingeistsäule verlängert, geht die Flüssigkeit an den Seiten des Cylinders vorbei, während dieser an der tiefsten Stelle der Scale, wohin er kam, liegen bleibt, und so das Minimum der Temperatur anzeigt. Die beiden Thermometer haben eine entgegengesetzte Stellung, damit durch gehöriges Neigen ihrer Fassung der Zeiger in jedem zur Oberfläche der Flüssigkeitssäule zurückgeführt werden könne, wenn eine neue Beobachtung beginnen soll.

Von Luftthermometern und von den Differenzialthermometern wird später die Rede seyn. Ueber die Verfertigung der Thermometer siehe: Luz Anweisung, Thermometer zu verfertigen. Nürnberg, 1834. Körner's Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer. Jena, 1824. Rudberg in Pogg. Ann. 40, 39 u. 582.

26. Für große Hitzgrade, die mittelst der Thermometer nicht mehr bestimmt werden können, bedient man sich sogenannter Pyrometer. Diese sind noch bei weitem nicht auf einen so hohen Grad der Vollkommenheit gebracht, wie die Thermometer. Am häufigsten bedient man sich des Wedgewood'schen Pyrometers. Dieses beruht auf der Eigenschaft des Thones, sich in der Hitze nach Verhältniß ihrer Intensität zusammenzuziehen, und beim Abkühlen das kleinste Volum, das er hatte, beizubehalten. Es besteht aus einer hinreichenden Anzahl kleiner Thoncylinder und einer Vorrichtung, ihre Dicke zu messen. Diese Vorrichtung (Fig. 4) wird von zwei convergirenden, etwa 12 Zoll langen Leisten gebildet, die an einem Ende um 0.5 Zoll, am anderen um 0.3 Zoll von einander abstehen, und zwischen welche obige Cylinder desto weiter hineingeschoben werden können, je kleiner sie sind. Die Leisten sind der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt, welche die Pyrometergrade vorstellen. Die Cylinder werden aus eigens gemischtem Thone von Cornwallis gemacht, zuerst alle von gleicher Größe angetragen, und hierauf bei 100° C getrocknet. Schon beim Trocknen schwinden sie ungleich, so daß wohl einige bis zum Nullpunkte der Scale mit der vorderen Kante zwischen die Leisten geschoben werden können, andere aber weiter, andere minder weit reichen. Um alle brauchen zu können, notirt man auf jedem Stücke die Zahl, um

welche es zu klein oder zu groß ist, und zwar erstere an der vorderen, letztere an der hinteren, abgestumpften Seite, damit man beim Gebrauche darauf die gehörige Rücksicht nehmen könne. Die so regulirten Stücke werden hart gebrannt, und reichen dann meistens bis zum 5ten oder 7ten Grade. — Will man mit diesem Instrumente eine hohe Temperatur bestimmen, so setzt man einen solchen Thoncylinder derselben aus, läßt ihn diese Temperatur annehmen, hierauf aber erkalten, wornach man ihn zwischen die zwei Leisten der Skale, so weit es angeht, einschiebt, und den Grad abliest, der seiner Vorderfläche entspricht, berücksichtigt aber dabei die am Cylinder notirte Correction. Schon einmal gebrauchte Stücke kann man noch fernerhin für höhere Temperaturen benützen. Nach Wedgewood entspricht der Nullpunkt der Scale einer Temperatur von 1077° F = 580° ½ C und jeder Grad 132° F = 73° ⅓ C. Nach Guyton Morveau stimmt aber der Nullpunkt der W. Scale mit 517° F und jeder Grad mit 62° ½ F überein. Uebrigens setzt dieses Instrument voraus, daß sich der Thon seiner Temperatur proportional zusammenziehe, eine Voraussetzung, deren Richtigkeit schon darum starken Zweifeln ausgesetzt ist, weil gleich beim ersten Trocknen nicht alle Cylinder gleich stark schwinden. Nach Daniell zieht sich ein Thoncylinder in einer mäßigen, lange anhaltenden Hitze eben so stark zusammen, wie in einer hohen, nur kurz dauernden. Darum ist auf die Zuverläßigkeit solcher Instrumente nicht viel zu bauen. Man hat deßhalb auch andere pyrometrische Vorrichtungen vorgeschlagen. (Beschreibung und Gebrauch eines Thermometers, die hohen Hitzgrade zu messen 2c., von J. Wedgewood. Aus dem Englischen. London, 1786.)

Guyton Morveau (Mémoires de l'Acad. 1808) mißt die Hitzgrade eines Körpers durch die Ausdehnung des Platins, Daniell (Edinb. philos. journ. N. 10. 397) durch den Unterschied zwischen der Ausdehnung des Platins und des Graphites, Mill (Zeitschr. 2 75) durch die Ausdehnung der Luft in einem Platingefäße. Am annehmbarsten dürfte wohl Prinsep's Vorschlag seyn, die Hitzegrade aus den Schmelzpunkten verschiedener Metalle abzunehmen. Die Schmelzpunkte des Silbers, Goldes und Platins liegen so weit aus einander, daß sie recht wohl die fixen Punkte der Scale abgeben können, und für die Zwischengrade dienen die Schmelzpunkte verschiedener Legirungen aus diesen Metallen. Zwischen dem Schmelzpunkte des reinen Silbers und dem des reinen Goldes werden 10 Grade angenommen, und die zu ihrer Bestimmung passenden Legirungen dadurch erhalten, daß man dem Silber successiv immer 10 Proc. Gold zusetzt. Zwischen den Schmelzpunkten des reinen Goldes und des Platins liegen 100 Grade, und man erhält die Legirungen, deren Schmelzhitze diesen Graden entspricht, indem man mit dem Golde successiv 1 Proc. Platin verbindet. Es ist kein Zweifel, daß dadurch in die pyrometrischen Bestimmungen Uebereinstimmung gebracht wird, und da man von den Metallegirungen nur sehr kleine Massen braucht (etwa von der Größe eines gemeinen Stecknadelkopfes), und jede derselben sehr oft benützt werden kann; so dürfte dieses Instrument wohl bald den ersten Platz einnehmen.

27. Daß in allen materiellen Dingen Theile unterschieden werden können, ergibt sich schon aus der Eigenschaft der Ausdehnung,

die ihnen zukommt; daß aber diese Theile getrennt werden können, oder daß die Körper theilbar sind, läßt sich erst aus der Erfahrung abnehmen. Diese lehrt, daß jeder Körper theilbar sey, und daß selbst der härteste, der Diamant, wenigstens durch sein eigenes Pulver geschliffen, mithin getheilt werden könne. Ob die Theilbarkeit ins Unendliche gehe, oder überhaupt, wie weit sie gehe, läßt sich auf dem Wege der Erfahrung nicht ausmachen; so viel ist aber gewiß, daß einige Körper, wie z. B. die dehnbaren Metalle, die riechenden, leuchtenden und färbenden Stoffe, durch Kunst in erstaunungswürdig kleine Theile getheilt werden können.

Aus einem Gran Gold schlagen die Goldarbeiter Blättchen von 36 Quadratzoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine silberne Stange von 22 Zoll Länge und $1^1/_4$ Linie Dicke mit einer Unze Goldes, und ziehen sie dann zu einem Drahte aus, der 97 französische Meilen lang ist; wird er noch dazu platt gedrückt, so erlangt er gar eine Länge von 110 Meilen, und ist doch allenthalben übergoldet, aber mit Blättchen, deren Dicke so gering ist, daß nach Black's Berechnung 14 Millionen erst die Dicke eines Zolles geben, während eben so viele Blätter gemeinen Druckpapiers $^3/_4$ englische Meilen einnehmen. Platin läßt sich durch ein eigenes, von Wollaston angegebenes Verfahren zu Draht von $^1/_{30000}$ Zoll Dicke ausziehen. Silber läßt sich zu Plättchen ausdehnen, wovon 8 Millionen auf einander gelegt erst die Dicke von $1^1/_4$ Linie haben, und ein 1 Gran schweres Silberklümpchen läßt sich zu einem 60 Fuß langen Draht ausziehen. Ein kleines Stück Moschus erfüllt ein sehr großes Zimmer mit seinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß 1 Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchssinn zu afficiren vermag. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchstaben an eine Wand schreiben, ohne ihn merklich abzureiben. Ein Gran Karmin färbt 20 Pfund Wasser merklich roth, und jedes als roth bemerkbare Theilchen hat nur die Größe $^1/_{30000000}$ Zoll. Löwenhoek zählte in einem Tropfen Stockfischmilch von der Größe eines Sandkorns 2 Millionen Thierchen. Man kennt mikroskopische Thiere, deren Bau so zusammengesetzt ist, wie jener des Elephanten.

28. Man unterscheidet die mechanische Theilung der Körper von der chemischen. Durch erstere erhält man Theile, welche sich vom Ganzen und unter sich nicht durch ihre innere Natur, sondern bloß durch Gestalt und Größe unterscheiden, durch letztere aber werden Theile erhalten, die vom Ganzen sowohl als unter sich ihrer Natur nach verschieden sind. So z. B. ist das Zerreiben eines Stückes Zinnober zu Pulver eine mechanische, die Zerlegung desselben in Schwefel und Quecksilber hingegen eine chemische Theilung. Die mechanische Theilung wird durch Schlagen, Stoßen, Mahlen, Schneiden, Hobeln, Raspeln, Feilen, Walzen, kurz durch mechanische Mittel, die chemische hingegen nur durch den Körpern eigene Kräfte bewerkstelliget. Jene materiellen Theile eines Körpers, welche weder durch mechanische noch durch chemische Mittel mehr getheilt werden können, nennt man Atome; eine Gruppe von Atomen, die durch Kräfte zusammengehalten werden, wird ein Molekel, und ein Aggregat von Molekeln ein

Massetheilchen, Partikel genannt. Die mechanische Theilung erstreckt sich immer nur auf Partikel oder Molekel, die chemische hingegen reicht bis zu den Atomen hinab.

Die Existenz von Atomen in dem eben angegebenen Sinne kann nicht bezweifelt werden. Ob dieselben aber das unmittelbare Substrat alles Materiellen seyen, mithin als das Letzte die Materialität Begründende angesehen werden müssen, wie die alten Atomisten behaupteten, oder ob sie selbst das Produkt einander hemmender, anziehenden und abstoßenden Kräfte seyen, wie die Dynamisten annehmen, darüber ist man noch nicht einig und wird es vielleicht auch nie werden. Für den Physiker gilt jeder als Dynamist, der bei der Verbindung heterogener Atome zu einem gleichartigen Ganzen eine Durchdringung derselben zuläßt, und jeder als Atomist, der daran nur eine neue Juxtaposition der Atome sieht.

29. Die Atome der Körper scheinen einander nicht bis zur Berührung genähert zu seyn, sondern in großen Abständen von einander erhalten zu werden. Dasselbe gilt auch von den Molekeln und Partikeln. Bei letzteren können diese Abstände manchmal sogar deutlich wahrgenommen werden, oder sie verrathen sich durch mannigfaltige Erscheinungen. Man sagt dann, ein Körper besitze Zwischenräume (Poren). Meistens dehnt man dieses auf alle Körper aus, und sieht die Porosität als eine allgemeine Eigenschaft der Körper an, wiewohl es Körper gibt, bei denen gar kein Grund für das Daseyn von Poren vorliegt.

An vielen Körpern erkennt man die Zwischenräume schon mit freiem Auge, wie z. B. beim Korkholz; bei anderen Holzarten schließt man auf ihr Daseyn daraus, daß man mittelst der Hand oder einer Presse Quecksilber durchpressen kann; aus Eiern, Nußschalen, selbst aus dem sogenannten Hydrophan (einem porösen Steine) steigen Luftblasen auf, wenn man sie ins Wasser legt, zum Beweise, daß die in den Zwischenräumen enthaltene Luft durch das Wasser vertrieben wird, mithin zum Beweise des Daseyns der Zwischenräume selbst. Marmor läßt eine mit Firniß abgeriebene Farbe auf eine ziemliche Tiefe eindringen; tropfbar flüssige Körper, z. B. Wasser, Weingeist, saugen luftförmige Stoffe ein, und beurkunden dadurch ihre Porosität. Wie groß die Anzahl der Zwischenräume in den Häuten der Thiere sey (wenn es überhaupt erlaubt ist, die feinen Gefäßenden an der Oberhaut Poren zu nennen), kann man aus dem Austreten des Schweißes, der Wirksamkeit der Salben und Räucherungen schließen.

30. Man sieht schon aus dem Vorhergehenden, daß nicht alle sogenannten allgemeinen Eigenschaften der Körper einerlei Rang behaupten. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit sind Bedingungen der Wahrnehmbarkeit der Körper, müssen also nothwendig bei jedem materiellen Dinge, das als solches erkannt werden soll, vorhanden seyn; Trägheit und Beweglichkeit sind wesentliche Merkmale alles Materiellen, aber nur durch Erfahrung gegeben. Ausdehnbarkeit und Zusammendrückbarkeit endlich sind reine Erfahrungseigenschaften, die nicht als wesentlich erscheinen. Eben dahin gehört auch die Schwere. Alle Körper haben nämlich ein Bestreben zur Erde zu fallen, welches sie durch den wirklichen Fall oder durch den Druck auf ihre Unterlage

äußern. Man sagt daher, sie seyen schwer, und rechnet die Schwere zu den allgemeinen Eigenschaften der Körper. Dem Rauche, den Wolken u. dgl. kann man eben so wenig die Schwere absprechen, weil sie in der Luft aufwärts steigen, als man sie einem Stücke Korkholz abspricht, weil es sich im Wasser erhebt. Daß die Schwere den Körpern nicht als Ganzen, sondern allen ihren Theilen zukomme, lehrt der Umstand, daß man bei der Theilung derselben in die kleinsten Stücke jedes schwer findet. Die Richtung eines frei fallenden Körpers heißt vertical. Sie wird durch einen biegsamen, von einem schweren, frei hängenden Körper gespannten Faden angezeigt. Eine darauf senkrechte Linie oder Ebene heißt horizontal. Der Erfahrung gemäß sind die verticalen Richtungen in nicht weit von einander entfernten Orten parallel; in weit von einander entfernten convergiren sie gegen die Erde zu. An demselben Orte oder in nicht weit von einander entfernten Orten fallen, in einem nicht widerstehenden Mittel, alle Körper gleich schnell (wie mehrere in der Folge vorkommende Erfahrungen zeigen werden), es sind daher alle gleich schwer. Die Schwere eines Körpers ändert sich nicht mit der Zeit, wohl aber von Ort zu Ort, sie wird näher gegen den Aequator der Erde kleiner, näher gegen die Pole größer, und nimmt selbst in größerer Entfernung vom Erdmittelpunkte ab. Man sieht die Erscheinungen der Schwere als Erfolg einer anziehenden Kraft an, welche die Erde auf alle Körper ausübt, und die deßhalb Schwerkraft genannt wird.

31. Der Druck, den ein Körper auf seine horizontale Unterlage vermög seiner Schwere ausübt, heißt sein Gewicht. In sofern man alle Theile eines Körpers als gleich schwer betrachten darf, kann man im Einklange mit dem in 20 Gesagten das Gewicht P desselben seiner Masse M und der Geschwindigkeit g, welche die Schwere an dem Orte, wo er sich befindet, der Masseneinheit während der Zeit 1 ertheilt, proportionirt setzen, so daß:

$$P = gM \;.\;.\;.\; (1)$$

ist. Hier stellt g zugleich das Gewicht der Masse 1 vor, und das Gewicht der Masse, welche den numerischen Werth $\frac{1}{g}$ hat, ist die Einheit der Gewichte. Da an demselben Orte, wo g constant ist, die Gewichte zweier Körper sich wie ihre Massen verhalten, so dienen die Gewichte zur Vergleichung der Massen. In diesem Sinne sieht man das Gewicht als das wahre Maß der Masse eines Körpers an, und bestimmt letztere durch ersteres. Man kann, da es sich hierbei um bloße Verhältnisse handelt, sogar von der Gewichtseinheit, welche obiger Formel zu Grunde liegt, abgehen, und wie es im gemeinen Leben geschieht, ein beliebiges Gewicht als Einheit annehmen, und mittelst Abwägen (wovon später die Rede seyn wird) finden, wie vielmal diese Einheit in dem zu untersuchenden Gewichte enthalten ist.

In Frankreich hat man das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Wassers bei einer Temperatur von 2°. 7 R. als Einheit angenommen und Gramme genannt. Ein Zehntel, Hundertel, Tausendtel davon heißt

Decigramme, Centigramme, Milligramme; das Zehnfache, Hundertfache, Tausendfache desselben Dekagramme, Hektogramme, Kilogramme. Gewöhnlich nimmt man einen Zentner, ein Pfund, ein Loth ꝛc. als Einheit des Gewichts an; in jedem Lande ist die Größe einer solchen Einheit bestimmt. Ein Wiener Pfund (32 Lothe jedes zu 240 Gran) hält 560012 Milligramme, mithin ein Gramme 13.714 Gran des Wiener Gewichtes. Ein Pariser Pf. hält 489506 Mill., ein engl. Pf. (av. du p.) 373202 Mill., ein preuß. Pf. 467711 Mill., und ein bayr. Pf. 560000 Mill. Unter dem Ausdrucke: Einheit des Gewichtes, oder Gewicht = 1 soll in der Folge stets ein Pfund verstanden werden, wenn nicht ausdrücklich ein anderer Werth festgesetzt wird.

32. Vergleicht man die Gewichte zweier gleichartigen Körper von verschiedenem Volum bei gleicher Wärme, so findet man, daß sie im geraden Verhältnisse mit den Rauminhalten stehen, und man kann daher dasselbe auch von ihren Massen sagen. Dieses ist aber in der Regel bei ungleichartigen Körpern nicht der Fall. Man nennt denjenigen, der unter demselben Volum mehr Gewicht hat, als ein anderer, im Einklange mit der Vorstellung, daß dieses von der größeren Menge Materie in demselben Raume herrühre, dichter, und zwar in demselben Verhältnisse, als er mehr Gewicht besitzt. Um die Dichten der Körper bequem durch Zahlen ausdrücken zu können, nimmt man die größte Dichte, welche reines Wasser haben kann (die Dichte desselben bei 3° R), zur Einheit an, und gibt der Dichte jedes andern Körpers den Zahlwerth, welcher anzeigt, wie oft seine Masse die des Wassers unter demselben Volum in sich enthält. So drückt man z. B. die Dichte des Goldes durch 19 aus, weil ein Volum desselben 19mal mehr Masse hat, als ein gleich großes Volum Wasser.

33. Es ist der Einfachheit der Formeln wegen zweckmäßig, für die Einheit der Massen, welche wir bis jetzt noch unbestimmt gelassen haben, diejenige anzunehmen, welche der Körper, dessen Dichte wir = 1 gesetzt haben, nämlich das reine Wasser im dichtesten Zustande, unter dem Volum 1 darbietet. Dieß vorausgesetzt stimmt der Zahlwerth der Dichte eines Körpers mit jenem seiner Masse unter dem Volum 1 überein, und man hat überhaupt, wenn M die Masse, V das Volum, D die Dichte eines Körpers bedeutet, die Gleichung

$$M = VD \ldots (2).$$

Hierdurch verwandelt sich die oben (31) gegebene Formel (1) in

$$P = gVD \ldots (3).$$

Das Gewicht eines Körpers ohne Rücksicht auf seinen Rauminhalt nennt man sein absolutes Gewicht. Das Gewicht eines Körpers unter dem Volum = 1 hingegen nennt man sein eigenthümliches oder specifisches Gewicht. Setzt man daher in (3) V = 1, so erhält man gD als Ausdruck für das spezifische Gewicht. Bezeichnet man dieses mit S, so hat man

$$P = VS \text{ oder } S = \frac{P}{V} \ldots (4).$$

Diese Formel gilt offenbar für jede beliebige Einheit der Gewichte. Haben für einen zweiten Körper d und s dieselbe Bedeutung, wie für

den ersten D und S, so wird für einerlei Werth von g

$$S : s = D : d$$

oder es verhalten sich die specifischen Gewichte wie die Dichten. Aus diesem Grunde darf man manchmal das specifische Gewicht mit der Dichte verwechseln.

34. Man drückt das specifische Gewicht eines Körpers auf eine zweifache Weise aus: 1) Durch das absolute Gewicht unter dem Volum = 1, wie z. B. wenn man sagt, ein Kubikfuß Wasser wiegt $56^1/_2$ Pfund. Dieses ist der eigentliche Ausdruck des specifischen Gewichtes. 2) Durch eine Zahl, welche anzeigt, wie vielmal in dem Gewichte des fraglichen Körpers unter dem Volum = 1 das Gewicht des reinen Wassers unter demselben Volum und bei oben genannter Temperatur enthalten ist. Es wird zwar dadurch nur der Exponent des Verhältnisses der specifischen Gewichte angezeigt, man erlangt aber den Vortheil, eine von der Verschiedenheit der Gewichtseinheiten und der Raummaße verschiedener Länder unabhängige Angabe zu erhalten. Beide Arten, das specifische Gewicht der Körper auszudrücken, lassen sich leicht in einander verwandeln: Ist z. B. das specifische Gewicht des Wassers nach (1) gleich p, das specifische Gewicht irgend eines Körpers nach (1) gleich q, nach (2) gleich s, so hat man

$$q = ps \text{ und } s = \frac{q}{p}.$$

Das specifische Gewicht eines Körpers nach der zweiten Bedeutung und die Dichte desselben werden durch dieselbe Zahl bezeichnet; darum werden wir in der Folge das specifische Gewicht stets nach der ersten Bezeichnung angeben.

Zweites Kapitel.

Verschiedenheit der Körper im Allgemeinen.

35. Die Körper unterscheiden sich von einander dem Aeußeren nach durch ihren Aggregationszustand, dem Inneren nach durch ihre chemische Beschaffenheit; von beiden Unterschieden soll nun ausführlicher gesprochen werden.

A. Aggregationszustand.

36. Unter Aggregationszustand versteht man die Art der Verbindung der Theile eines Körpers unter einander. In Rücksicht dieser Verbindung lassen sich alle Körper in zwei Classen bringen, in die der festen (starren) und in die der flüssigen. Fest heißt ein Körper, dessen Theile zu ihrer Verschiebung eine merkliche Kraft erfordern; flüssig, dessen Theile absolut leicht, d. h. durch jede beliebige wie immer kleine Kraft verschiebbar sind. Die flüssigen Körper zerfallen wieder in tropfbar flüssige und in ausdehnsam flüssige. Erstere sind schwer zusammendrückbar, letztere lassen sich leicht zusammendrücken, und suchen ihren Raum beständig zu erweitern. Der Kürze wegen werden wir in der Folge die tropfbar flüssigen

schlechtweg tropfbare nennen. Man ist seit langer Zeit her gewohnt, die ausdehnsamen Körper in Gase und in Dünste einzutheilen, wovon erstere bei jedem Drucke und bei jedem Kältegrade ausdehnsam bleiben, während letztere durch Zusammendrücken und Erkalten in den tropfbaren Zustand übergehen. In der neueren Zeit hat man aber die meisten Körper, die man sonst für Gase hielt, tropfbar dargestellt, und es wahrscheinlich gemacht, daß der Unterschied zwischen Gasen und Dünsten nicht wesentlich sey. Weil es aber das Auffassen der Erscheinungen erleichtert, wenn man die Stoffe, welche meistens im ausdehnsamen Zustande vorkommen, von jenen, die bald ausdehnsam bald tropfbar erscheinen, auch durch die Bezeichnung unterscheidet; so wollen wir diejenigen Gase nennen, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und beim natürlichen Luftdruck stets ausdehnsam sind, und mit dem Worte Dunst diejenigen bezeichnen, welche sich unter diesen Umständen bald ausdehnsam, bald tropfbar zeigen. Wahrscheinlich sind die Molekel aller Körper, sowohl der festen als der flüssigen starr.

37. Die Verschiedenheit des Aggregationszustandes kann keine innere Verschiedenheit der Körper begründen, und es kann derselbe Körper ohne Aenderung seiner inneren Natur in allen drei Aggregationsformen erscheinen, wie wir dieses am Wasser sehen, das bald fest als Eis, bald tropfbar, bald gar ausdehnsam als Wasserdunst erscheint. Diese Umwandlung des Aggregationszustandes bewirkt die Wärme und ein Druck von bestimmter Größe. Denn durch Erhöhung der Temperatur bis zu einem von der Natur einzelner Körper abhängigen Grade werden feste Massen tropfbar flüssig und tropfbare ausdehnsam, während durch Verminderung der Temperatur gerade entgegengesetzte Erscheinungen erfolgen. Wenn es uns auch nicht gelingt, alle Körper durch Erwärmung oder Erkältung in allen drei Zuständen darzustellen; so kann man doch immerhin annehmen, es fehlen uns bloß die Mittel, den dazu nöthigen Wärme- oder Kältegrad zu erzeugen, ausgenommen die Fälle, in welchen Körper eher chemisch zersetzt werden, als sich ihr Aggregationszustand ändert. Durch mechanischen Druck lassen sich viele ausdehnsame Körper in tropfbar flüssige verwandeln. Vorzüglich wirksam zeigt sich diejenige Art der Compression, welche ein ausdehnsamer Körper auf sich selbst ausübt, und die Faraday zuerst mit bestem Erfolge angewendet hat.

Faraday schloß den Stoff, welcher das Gas liefern soll, in eine hinreichend dicke Glasröhre luftdicht ein, und wendete hierauf das Mittel an, wodurch die Gasentwicklung hervorgebracht wird. Ist dieses kräftig genug und das Glas hinreichend stark, so wird anhaltend Gas erzeugt, und das bereits vorhandene bis zum tropfbaren Zustande verdichtet. Auf diese Weise haben Faraday und Niemann schwefelige Säure, Cyan, Chlor, Ammoniak, Chloroxyd, Schwefelwasserstoff, Salzsäure, Kohlensäure, Stickstoffoxydul und chlorige Säure tropfbar, Thilorier Kohlensäure in großer Menge nicht nur tropfbar, sondern durch fernere Behandlung sogar fest dargestellt. (Gilb. Ann. 75. 335. Brande's Archiv 36. 175. Pogg. Ann. 36. 141.)

38. Die Verschiedenheit des Aggregationszustandes läßt sich nicht wieder aus Erscheinungen herleiten; man nimmt daher zu Kräften seine Zuflucht, die als der Materie zugehörig gedacht werden. Folgende Ansicht scheint der Sache am meisten zu genügen, wird aber erst in der Folge (II. Abschn. 4. u. 5. Kap.) hinreichend detaillirt werden. Jeder Körper ist ein Aggregat von kleinen materiellen Theilen, die ein beständiges Bestreben sich zu vereinigen besitzen, welches man mit dem Worte Anziehung bezeichnet. Dieses ist keine hypothetische Voraussetzung (so lange man diese Anziehung nicht näher bestimmt), sondern eine Thatsache, welche durch den bei der Verschiebung oder Trennung fester Körper sich äußernden Widerstand überhaupt bewiesen ist, und in der Folge an den Phänomenen der Krystallisation und der Haarröhrchen eine noch nähere Bestätigung erhalten wird. Wäre dieses Bestreben der Theile zur gegenseitigen Annäherung das einzige in der Materie herrschende, so würden sich diese Theile einander bis zur Berührung nähern, und es müßte dann ein Körper immer dasselbe Volum beibehalten. Weil aber dagegen die bestimmtesten Erfahrungen streiten, so muß es etwas geben, das der Anziehung entgegenwirkt, und deßhalb Abstoßung genannt wird. Man kann (nach 10) diese uns unbekannte Ursache der Anziehung Anziehungskraft, die der Abstoßung Abstoßungskraft nennen und behaupten, daß diese zwei einander entgegengesetzten Kräfte die Lage und Verbindung der kleinsten Massentheilchen eines Körpers, mithin auch dessen Volum und Aggregationszustand, bestimmen. So wie äußere Umstände die Wirksamkeit der einen oder der anderen dieser Kräfte begünstigen, muß sich das Volum vergrößern oder verkleinern, oder es wird gar eine Aenderung des Aggregationszustandes erfolgen. Es ist nicht ausgemacht, ob die Abstoßungskraft, gleich der Anziehungskraft, der Materie eigenthümlich zugehöre, oder ob sie bloß von einem feinen Agens herrühre, welches die Theile der Körper umgibt. Indeß hat diese Ungewißheit auf unsere Forschungen keinen Einfluß, weil es hauptsächlich nur auf die Gesetze ankommt, nach welchen jene Kräfte wirken.

B. Chemische Beschaffenheit der Körper.

39. Es ist einleuchtend, daß nicht alle Verschiedenheit der Körper von der Verbindungsweise ihrer kleinsten Theile herrühre, sondern daß man auch materielle Verschiedenheiten annehmen müsse. Kein Aufmerksamer wird wohl, des gleichen Aggregationszustandes ungeachtet, Wasser mit Baumöhl, Eisen mit Glas verwechseln. An manchem Körper erkennt man die materielle Verschiedenheit schon unmittelbar durch die Sinne, allein in vielen Fällen mangeln derlei sinnliche Criterien gänzlich, oder sie sind in zu geringem Grade vorhanden, oder endlich gar trüglich. So z. B. unterscheiden wir allerdings Wasser von Weingeist durch den Geschmack, Eisen von Glas durch Farbe und Durchsichtigkeit ꝛc., allein die atmosphärische, zum Athmen geeignete Luft, läßt sich von dem beim Verbrennen der Kohle erzeugten, erstickenden Gase durchaus nicht durch ein unmittelbares, sinnli-

ches Merkmal unterscheiden. Glücklicher Weise wirken verschiedene Körper durch eine eigene, innere Kraft so auf einander, daß man sie dadurch von einander zu unterscheiden vermag, wenn man mit den Wirkungen derselben vertraut ist. Diese Kraft zielt im Allgemeinen dahin, die Atome (28) ungleichartiger Körper zu einem durchaus gleichartigen Ganzen (zu einem chemischen Producte) zu verbinden, und heißt chemische Anziehung. Von Körpern, denen diese Kraft zukommt, sagt man, sie haben eine chemische Verwandtschaft oder Affinität zu einander. Das Product, welches aus der chemischen Vereinigung der Stoffe hervorgeht (oder auch den Prozeß, wodurch es gebildet wird), nennt man eine chemische Mischung, oder wenn sich ein fester Körper mit einem flüssigen zu einem flüssigen Producte vereiniget, eine Auflösung, zum Unterschiede von dem Producte einer bloß mechanisch wirkenden Kraft, welches ein Gemenge heißt. Die Körper, aus denen die Mischung besteht, heißen ihre Bestandtheile. Jeder Körper, der chemische Bestandtheile hat, heißt chemisch zusammengesetzt.

40. Die chemische Verwandtschaft bewirkt nicht bloß eine chemische Verbindung, sondern oft auch eine Trennung der bereits chemisch verbundenen Stoffe, also eine Zerlegung eines Körpers. Die verschiedenen Stoffe sind sich nämlich in verschiedenem Grade chemisch verwandt, und äußern ihre größere oder kleinere Verwandtschaft selbst dann noch, wenn sie bereits mit andern Körpern verbunden sind. Kommt nämlich zu einem Körper AB, d. h. zu einem solchen, dessen Bestandtheile A und B sind, ein Stoff C, welcher zu A eine größere Verwandtschaft hat, als A zu B, so erfolgt eine Zerlegung von AB, und eine Vereinigung von A mit C, wodurch B frei wird. Weil C sich den Stoff A gleichsam ausgewählt hat, so sagt man, die Zersetzung des Körpers AB sey durch Wahlverwandtschaft erfolgt, und zwar durch einfache, weil C dabei keine Zersetzung erlitten hat. Wäre C, dessen Bestandtheile a und b heißen mögen, selbst zerlegt worden, und a mit A, b hingegen mit B in Verbindung getreten, demnach aus den zwei Körpern AB und C zwei andere Aa und Bb entstanden, so wäre eine doppelte Wahlverwandtschaft thätig gewesen. Uebrigens erfolgt nicht jede Zerlegung der Körper durch Wahlverwandtschaft, sondern viele derselben werden durch Licht, Wärme, Elektricität ꝛc. bewirkt; ja es gibt chemische Zersetzungen, welche durch die bloße Gegenwart eines Stoffes bedingt sind, ohne daß derselbe eine chemische Verbindung eingeht. Berzelius (Jahresbericht. 15. 237) nennt die Kraft, welche dieser Stoff hiebei ausübt, katalytische Kraft.

Wenn man in eine Auflösung von Kupfervitriol, die aus Kupfer- und Schwefelsäure besteht, ein Eisenstängelchen taucht, so läßt die Schwefelsäure das Kupfer fahren und verbindet sich dafür mit dem Eisen. Bringt man eine Auflösung von chromsaurem Kali und essigsaurem Blei zusammen, so werden beide zersetzt, es bildet sich chromsaures Blei und essigsaures Kali. Chlorsilber wird durch Sonnenlicht zersetzt und das Silber ausgeschieden; kohlensaurer Kalk wird durch starke Erhitzung in

Aetzkalk verwandelt; Wasser kann durch Elektricität in seine Bestandtheile zerlegt werden. Bringt man das sogenannte Wasserstoffhyperoxyd mit einer Spur von Gold oder Silber in Berührung, so zerfällt es in Wasser- und Sauerstoff.

41. Die ungleichartigen Stoffe, welche man bei der Zerlegung eines Körpers zunächst erhält, und aus denen er zunächst besteht, nennt man seine nächsten Bestandtheile. Diese sind oft selbst wieder zusammengesetzt, und enthalten daher Theile, welche entfernte Bestandtheile jenes Körpers genannt werden. So z. B. besteht der Salpeter aus Kali und Salpetersäure als seinen nächsten Bestandtheilen; aber sowohl das Kali als die Salpetersäure sind selbst wieder zusammengesetzter Natur und ihre nächsten Bestandtheile sind daher die entfernteren des Salpeters. Es ist klar, daß man beim Fortschreiten von den näheren zu den entfernteren Bestandtheilen endlich auf solche Körper kommen muß, die nicht mehr weiter aus chemisch heterogenen Theilen bestehen, und deßhalb chemisch einfache oder Elemente genannt werden müssen. Wiewohl an der Existenz chemischer Elemente nicht zu zweifeln ist, so ist es doch unmöglich, mit vollkommener Sicherheit von einem Stoffe zu erweisen, er sey ein Element, und man hat für seine chemische Einfachheit selbst im günstigsten Falle nur eine große Wahrscheinlichkeit. Wirklich ist schon oft ein Stoff längere Zeit hindurch als chemisch einfach angesehen worden, und plötzlich hat ihn ein neu entdecktes Zerlegungsmittel in die Reihe der zusammengesetzten Körper zurückgewiesen. Darum bezeichnet man die Stoffe, welche man durch die jetzt bekannten Mittel nicht weiter zerlegen kann, mit dem Namen Grundstoffe, und selbst, wenn man sie Elemente nennt, versteht man darunter nicht absolut unzerlegbare, sondern bis jetzt unzerlegte Stoffe. Solche gibt es gegenwärtig 54. Sie folgen hier mit ihren in der Folge zu erklärenden Symbolen und Zahlen in einer solchen Ordnung, daß zwischen je zweien derselben eine desto größere chemische Differenz herrscht, je weiter sie von einander abstehen. Bei der chemischen Verbindung zweier solchen Körper spielt der in dieser Reihe vorgehende stets eine Rolle, die jener des nachfolgenden entgegengesetzt ist, und darum, so wie auch aus Gründen, die erst in der Elektricitätslehre klar werden können, heißt jeder vorausgehende negativ gegen jeden nachfolgenden, der hinsichtlich des ersteren positiv heißt.

Grundstoff.	Symbol.	Mischungsgewicht.	Grundstoff.	Symbol.	Mischungsgewicht.
1. Sauerstoff	O	100	9. Selen	Se	494.6
2. Chlor	Cl	221.3	10. Arsenik	As	470.0
3. Brom	Br	489.1	11. Molybdän	Mo	598.5
4. Jod	J	789.8	12. Vanadin	V	855.8
5. Schwefel	S	201.2	13. Chrom	Cr	351.8
6. Stickstoff	N	88.5	14. Wolfram	W	1183.0
7. Fluor	F	116.9	15. Bor	B	136.2
8. Phosphor	P	196.1	16. Kohle	C	76.4

Grundstoff.	Symbol.	Mischungsgewicht.	Grundstoff.	Symbol.	Mischungsgewicht.
17. Antimon	Sb	806 4	36. Cadmium	Cd	696.8
18. Tellur	Te	801.8	37. Zink	Zn	403.2
19. Tantal	Ta	1153.7	38. Nickel	Ni	369.7
20. Titan	Ti	303.7	39. Kobalt	Co	369.0
21. Kiesel	Si	277.3	40. Eisen	Fe	339.2
22. Wasserstoff	H	6.2	41. Mangan	Mn	345.9
23 Gold	Au	1243.0	42. Cer	Ce	574.8
24. Platin	Pt	1233.5	43. Thorium	Th	744.9
25. Rhodium	R	651.4	44. Zirconium	Zr	420.2
26. Palladium	Pd	665.8	45. Yttrium	Y	402.5
27. Iridium	Ir	1233.5	46. Beryllium	G	331.3
28. Osmium	Os	1244.5	47. Aluminium	Al	171.2
29. Silber	Ag	1351.6	48. Magnesium	Mg	158.4
30. Quecksilber	Hg	1265.8	49. Calcium	Ca	256.0
31. Kupfer	Cu	395.7	50. Strontium	Sr	547.3
32. Uran	U	2711.4	51. Barium	Ba	856.9
33. Wismuth	Bi	886.9	52. Lithium	L	80.4
34. Zinn	Sn	735.3	53. Natrium	Na	290.9
35. Blei	Pb	1294.5	54. Kalium	K	489.9

Unmittelbare Verbindungen dieser Grundstoffe unter sich heißen Verbindungen der ersten Ordnung, Verbindungen dieser Producte geben aber jene der zweiten, dritten, vierten Ordnung 2c.

42. Durch vielfaches Beobachten der bei chemischen Prozessen eintretenden Vorgänge hat man die Gesetze der chemischen Verwandtschaft kennen gelernt. Es ist auf diesem Wege klar geworden, daß die Affinität bis zu den Atomen der Körper hinabreicht und ihre Verbindung oder Trennung vermittelt, während sich die Anziehung, von welcher der Aggregationszustand abhängt (38), nur auf die Molekel und größeren Massentheile erstreckt; man hat erkannt, daß die chemische Anziehung wohl, wie die Schwere, jedes materielle Theilchen afficire, aber nicht wie jene in wahrnehmbare Entfernung wirke, sondern nur bei sehr kleinen Distanzen, vielleicht gar nur bei unmittelbarer Berührung der betreffenden Stoffe in Thätigkeit trete. Aus diesen Gesetzen ergeben sich mehrere für die Anwendung wichtige Folgerungen: Die Anziehung zwischen den homogenen Theilen der Körper erscheint als Feindinn der Affinität. Daher wirken feste Körper in der Regel nicht chemisch auf einander, sondern es muß wenigstens einer derselben flüssig seyn (corpora non agunt nisi fluida, sagten die alten Chemiker), und man schmilzt darum entweder einen oder beide der Körper, die sich chemisch verbinden sollen, oder löset sie im Wasser auf. Darum erfolgt die chemische Wirkung eines flüssigen Körpers auf einen festen desto leichter und stärker, je weniger die Theile des letzteren zusammenhängen, wie dieses an einer Silbermünze zu sehen ist, die von Scheidewasser an den erhabenen, weniger zusammengepreßten Stellen leichter angegriffen wird, als an den vertieften, so daß man dadurch an abgegriffenen Münzen das Gepräge wieder sicht-

bar machen kann. Darum begünstiget Temperaturerhöhung, welche den Zusammenhang der Theile vermindert, die Einwirkung der chemischen Kräfte, wenn sie nicht so weit steigt, daß sie einen Körper ausdehnsam macht und dadurch an der abstoßenden Kraft der Theile einen neuen Gegner der Affinität erweckt. Daß sich Sauerstoff und Quecksilber bei der Siedhitze des letzteren nicht mit einander verbinden, während diese Verbindung bei geringerer Temperatur vor sich geht, so wie, daß Sauerstoffgas und Stickstoffgas ungeachtet ihrer erwiesenen Affinität in der Atmosphäre mit einander gemengt bleiben, ohne sich chemisch zu verbinden, hat hierin seinen Grund. Es ist leicht einzusehen, daß jede Vergrößerung der Berührungsflächen zwischen chemisch verwandten Stoffen die Verbindung erleichtern und beschleunigen muß. Daraus erklärt sich die Wirkung des Zerkleinerns der Stoffe und des Umrührens. Vielleicht kommt es auch daher, daß ein Stoff am liebsten dann eine Verbindung eingeht, wenn er gerade aus einer anderen tritt, denn da befindet er sich gewiß im Zustande der feinsten Vertheilung. Unerklärlich bleibt es aber bis jetzt, wie es kommt, daß oft zwei Stoffe nur durch einen dritten zur Verbindung disponirt werden, wie wir dieses bei der atm. Luft sehen, wo die Gegenwart eines Alkali die Verbindung des Sauerstoffes mit Stickstoff zur Salpetersäure bedingt. Daß die chemische Anziehung nicht auf alle Körper gleich stark wirke, wie die Schwere, sondern daß es Grade der chemischen Verwandtschaft gebe, ist schon früher (40) gesagt worden.

Die Verwandtschaftsgrade der Körper zu einander lernt man durch Zersetzung derselben mittelst Wahlverwandtschaft kennen. So z. B. lehrt die Erfahrung, daß schwefelsaures Ammoniak durch Natrum, schwefelsaures Natrum durch Kali, schwefelsaures Kali durch Kalk, schwefelsaurer Kalk durch Strontian, zersetzt wird, mithin daß die genannten Körper nach ihrer Verwandtschaft zur Schwefelsäure so auf einander folgen: Ammoniak, Natrum, Kali, Kalk, Strontian. Doch darf man hierbei nicht vergessen, daß oft äußere Umstände die Verwandtschaftsgrade stark abändern, und entweder keine reinen oder gar keine Ausscheidungen Statt finden, wo sie den vorausgesetzten Verwandtschaftsgraden zu Folge eintreten sollten. Solche Abweichungen werden oft durch den Umstand erzeugt, daß ein Körper nicht bloß durch seine Verwandtschaft, sondern auch durch seine Masse wirkt, und daher das Resultat seiner chemischen Wirkung von dem Producte dieser beiden Größen (vom chemischen Momente) abhängt. Es kann darum ein Körper mit geringer Verwandtschaft und großer Masse einen anderen, dessen Verwandtschaft größer, dessen Masse aber viel kleiner ist, aus seiner Verbindung vertreiben. Auf diese Weise vertreibt die Salpetersäure die viel stärkere Schwefelsäure aus ihrer Verbindung mit Kali. Aehnliche Anomalien bewirkt ein hoher Grad von Flüchtigkeit eines Stoffes, oder die große Auflösbarkeit desselben in dem Mittel, worin er sich bildet, wohl auch die Temperatur. Deßhalb vertreibt die feuerfeste Borsäure die viel stärkere aber flüchtige Salpetersäure aus ihren Verbindungen bei einem hohen Hitzegrade; eben so zersetzt die Weinsäure die Auflösung von salpetersaurer Kalkerde, und bildet die leicht im Wasser lösliche, weinsaure Kalkerde, wiewohl die Salpetersäure der Kalkerde näher verwandt ist, als die Weinsäure. Wie sehr die Temperatur die Verwandtschaft modificire, zeigt das Ver-

halten des Sauerstoffes zum Quecksilber, der sich bei geringer Wärme leicht mit demselben verbindet, bei höherer aber nicht.

43. Durch den bloßen Einfluß der chemischen Verwandtschaft und ohne Mithülfe der Lebenskräfte verbinden sich in der Regel nur einfache Stoffe mit einfachen, und zusammengesetzte nur unter sich. Einige Stoffe verbinden sich in allen möglichen Verhältnissen mit einander, z. B. Weingeist und Wasser; andere können sich innerhalb gewisser Grenzen in allen denkbaren Verhältnissen mit einander vereinigen, über diese Grenzen hinaus gehen sie aber keine Verbindung ein. So z. B. nimmt Wasser zwar nur eine bestimmte Menge Kochsalz (nahe 37 p. c.) auf, aber unter dieser Menge ist in jedem Verhältnisse eine Verbindung möglich. Wenn ein Körper von einem anderen so viel aufgenommen hat, als er vermag, heißt er gesättiget. Die Sättigungsmenge hängt nicht bloß von der Natur der Stoffe, sondern auch von ihrer Temperatur ab. Haben zwei Körper durch gegenseitige Vereinigung ihre charakteristischen Eigenschaften eingebüßt, so heißen sie neutralisirt. Neutralisirung ist demnach von Sättigung wesentlich verschieden, es kann ein Körper mit einem anderen gesättiget und doch nicht durch ihn neutralisirt seyn, wie dieses bei einer gesättigten Auflösung von Kochsalz im Wasser der Fall ist, und in einem neutralen Gemische sind die Bestandtheile nicht immer gesättiget. Bei Verbindungen, die in allen möglichen Verhältnissen vor sich gehen, gibt es in der Regel keine Neutralisirung.

44. Verbindungen, welche durch starke Verwandtschaften erzeugt sind, enthalten die Bestandtheile stets in bestimmten Verhältnissen. So z. B. verbinden sich stets nur 100 Th. Schwefelsäure mit 71 Th. Kalk zu Gips; nimmt man mehr Schwefelsäure, so bildet sich zwar auch Gips, aber es bleibt ein Theil Schwefelsäure frei zurück; nimmt man mehr Kalk, so erfolgt dasselbe, aber es bleibt freier Kalk übrig. Zwischen vielen Körpern gibt es nur ein einziges Mischungsverhältniß, bei manchen aber kennt man deren mehrere, und wo dieses der Fall ist, da sind, für einerlei Menge des einen Bestandtheils der Mischung die höheren Quantitäten des andern Vielfache der geringsten Quantität. Verbinden sich zwei Stoffe mit einander, die einen gemeinschaftlichen Bestandtheil enthalten, so geschieht dieses in einem solchen Verhältnisse, daß die Menge des gemeinschaftlichen Bestandtheils in einem Körper ein Vielfaches von der Menge dieses Bestandtheiles im anderen Körper ist. Die Mischungsverhältnisse sind von der absoluten Größe der sich verbindenden Massen unabhängig, und müssen demnach auch noch von den Atomen der Körper gelten. Ist dieses richtig, so müssen sich in den höheren Verbindungsstufen 1, 2, 3, ꝛc. Atome des negativen Körpers mit 1 Atom des positiven verbinden.

Silicium und Sauerstoff verbinden sich in einem einzigen Verhältnisse, Quecksilber und Sauerstoff in zweien, und zwar vereinigen sich 100 Th. Quecksilber mit 4 Th. und mit $8 = 2 \times 4$ Th. Sauerstoff. Sauerstoff und Stickstoff verbinden sich mit einander in fünf Verhältnissen; es gibt nämlich ein Volum Stickgas mit $1/2$ Vol. Sauerstoffgas Stickoxydul,

mit 1 Vol. Srst. Stickoxyd, mit 1½ Vol. Srst. untersalpetrige Säure, mit 2 Vol. Srst. salpetrige Säure und mit 2½ Vol. Srst. Salpetersäure. Es wachsen demnach die Sauerstoffvol. von der niedrigsten bis zur höchsten Verbindung wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5. Verbindet sich Schwefelsäure mit Eisenoxydul zu einem neutralen Gemische, so braucht man zu 100 Th. des Produktes 53.29 Th. Schwefelsäure und 46.71 Th. Eisenoxydul, und diese Menge Eisenoxydul enthält 10.63 Th. Sauerstoff, die dasselbe neutralisirende Schwefelsäure hingegen 31.89 Th., mithin gerade dreimal so viel. — Wenzel, ein deutscher Chemiker, scheint schon (im Jahre 1777) auf die bestimmten Verhältnisse der sich verbindenden Körper aufmerksam gemacht und sie durch Versuche nachzuweisen gesucht zu haben, allein Richter hat sich zuerst darüber bestimmt ausgesprochen und sie aus des ersteren Versuchen nachgewiesen, er fand aber bei seinen Zeitgenossen wenig Eingang, theils weil seine eigenen Versuche wenig Genauigkeit besaßen, theils aber, weil Lavoisier's damals neue Schöpfung im Gebiete der Chemie die Aufmerksamkeit der ganzen gelehrten Welt in Anspruch genommen hatte, und so blieb die Sache auf sich selbst beruhen, bis Proust die Verbindung der Metalle mit Sauerstoff und Schwefel in bestimmten Verhältnissen gegen Berthollet's Behauptungen in Schutz nahm. Während des hierüber zwischen beiden mit vieler Mäßigung und tiefer Gründlichkeit geführten Streites machte Gay-Lussac die wichtige Entdeckung, daß sich Gase stets in sehr einfachen Raumverhältnissen mit einander verbinden, und zwar immer 1 Volum des einen mit 1, 2, 3 rc. Volumen des anderen, ein Verhalten, das schon früher Dalton gemuthmaßt hatte. Endlich hat der große Chemist Berzelius seine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gerichtet, und ihn durch höchst genaue und sinnreiche Versuche so fest begründet, daß alle Zweifel darüber verstummen mußten.

45. Die Zahlen, welche die Gewichtsmengen ausdrücken, nach welchen sich Stoffe mit einander zu neutralen Producten verbinden, heißt man ihre Mischungsgewichte, wohl auch ihre chemischen Aequivalente, stöchiometrischen Zahlen oder Atomengewichte. Sie stehen mit der Stärke der chemischen Wirksamkeit der Stoffe in Verbindung, indem ein Stoff für desto kräftiger gelten muß, je kleiner diese seine Zahl ist. Der chemisch kräftigste Stoff ist der Wasserstoff, der schwächste das Uranmetall. Die den chemischen Elementen (S. 29) beigesetzten Zahlen geben diese Mischungsgewichte an, in der Voraussetzung, daß jenes des Sauerstoffes die Einheit der chemischen Kraft vorstellt, mithin durch 1, oder der Bequemlichkeit der Rechnung wegen durch 100 ausgedrückt wird. Nicht selten wird auch der Werth des Wasserstoffes als Einheit angenommen. Es ist leicht die nach der einen dieser Einheiten angegebenen Mischungsgewichte der Stoffe, auf die der andern Einheit entsprechenden zu reduciren. Diesen chemischen Werth behalten die Stoffe unter einander bei, sie mögen was immer für eine Verbindung eingegangen seyn, und alle ihre sonstigen Eigenschaften verloren haben, und es ist demnach in Bezug auf diesen Werth einerlei, ob ein Stoff isolirt dasteht, oder mit einem anderen verbunden ist. Daraus folgt, daß das Mischungsgewicht eines chemisch zusammengesetzten Körpers der Summe der Mischungsgewichte seiner Bestandtheile gleich ist.

Die in der Tabelle (S. 29) enthaltenen Mischungsgewichte lassen erkennen, daß, wenn der Sauerstoff in seinen Verbindungen mit anderen Stoffen mit 100, oder falls es höhere Verbindungsstufen sind, mit 200, 300 ꝛc. ausgedrückt wird, in allen Chlorverbindungen das Chlor nach der Gewichtsmenge von 221, der Schwefel im Gewichte von 201 und dessen Vielfachen vorkommen müsse. Es verbinden sich demnach 100 Th. Sauerstoff mit 221 Th. Chlor und mit 201 Th. Schwefel, so wie 221 Chlor mit 201 Schwefel, und das Mischungsgewicht des so entstandenen Chlorsauerstoffes wird durch $100 + 221 = 321$, jenes des Schwefelsauerstoffes durch 301, die des Chlorschwefels durch 422 ausgedrückt. Die oben (44) erwähnten zwei Verbindungen von Quecksilber und Sauerstoff erhalten die Zahlen $2 \times 1265.8 + 100 = 2631.6$ und $1265.8 + 100 = 1365.8$. Welchen großen practischen Werth demnach eine Tabelle der Mischungsgewichte habe, ist leicht einzusehen.

46. Um die Bestandtheile eines zusammengesetzten Stoffes und deren Verbindungsweise möglichst kurz anzeigen zu können, hat man eine eigene chemische Zeichensprache eingeführt, nach welcher jeder einfache Stoff mit dem Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens, und daher Sauerstoff (Oxygenium) mit O, Phosphor mit P ꝛc., bezeichnet wird; nur wo eine Zweideutigkeit zu vermeiden ist, setzt man zu diesem noch den nächsten charakteristischen Buchstaben des Namens. Daher bedeutet Fe Eisen (Ferrum), Sb Antimon (Stibium um ersteres vom Fluor F, letzteres vom Schwefel S, vom Zinn Sn (Stannum), vom Kiesel Si (Silicium) ꝛc. zu unterscheiden. Diese Zeichen bedeuten zugleich, wenn es sich um quantitative Bestimmungen der Bestandtheile eines zusammengesetzten Stoffes handelt, Gewichtsmengen, welche den in der Tabelle (S. 29) angeführten Mischungsgewichten proportionirt sind. Zusammengesetzte Körper der ersten Ordnung werden durch unmittelbares Zusammenstellen der Zeichen ihrer Bestandtheile angedeutet, wobei man, wenn in einer Verbindung von einem Bestandtheile mehrere Atome vorkommen, ihre Anzahl durch einen Exponenten anzeigt. Bei Zusammensetzungen höherer Ordnungen werden die nächsten Bestandtheile durch das Zeichen + zu einem Ganzen verbunden, und dem Zeichen eines zusammengesetzten Bestandtheiles, wovon mehr als ein Atom in die Verbindung eingeht, ein Coefficient, der die Anzahl der Atome angibt, vorgesetzt. So bedeutet KO Kaliumoxyd, d. i. eine Verbindung von 1 Atom Kali mit 1 Atom Sauerstoff, H^2O Wasser, d. i. eine Verbindung von 2 Atomen Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff, SO^3 Schwefelsäure (wasserfreie), d. i. die Verbindung von 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerstoff; dagegen zeigt $SO^3 + H^2O$ englische Schwefelsäure an, welche aus 1 Atom Schwefelsäure und 1 Atom Wasser besteht, $CaO + SO^3 + 2\,H^2O$ krystallisirten Gips, d. i. 1 Atom schwefelsauren Kalk mit 2 At. Wasser verbunden.

Um die Länge der Formeln, vornehmlich jener für Zusammensetzungen höherer Ordnungen zu vermindern, bezeichnet Berzelius die Sauerstoff-Atome ihres häufigen Vorkommens wegen durch Punkte, die Schwefel-Atome durch Accente, welche über das Zeichen des einfachen Stoffes, mit welchem der Sauerstoff oder Schwefel verbunden ist, gesetzt werden; ferner Doppel-Atome eines einfachen Stoffes, indem er durch

den Anfangsbuchstaben desselben einen Querstrich führt. Organische Säuren deutet er durch den Anfangsbuchstaben ihres lateinischen Namens mit einem darüber gesetzten Querstriche an. So bedeutet nach dieser kürzeren Bezeichnung $\dot{K}$ Kaliumoxyd, $\dot{H}$ Wasser, $\dddot{S}$ Schwefelsäure (wasserfreie), $\dddot{S}\dot{H}$ englische Schwefelsäure, $\bar{A}$ Essigsäure (Acidum aceticum) u. s. w. Um in einem Beispiele zu zeigen, wie derlei Formeln die Gewichtsmengen der Bestandtheile eines zusammengesetzten Stoffes angeben, betrachten wir die Formel für das Wasser H^2O. Setzt man hier der Tabelle (S. 29) gemäß $H = 6.2$ und $O = 100$, so wird $H^2O = 12.4 + 100 = 112.4$. Es enthalten daher 112.4 Gewichtstheile Wasser 12.4 Theile Wasserstoff und 100 Sauerstoff; mithin sind in 100 Theilen Wasser 11 Theile Wasserstoff und 89 Theile Sauerstoff vorhanden.

47. Zu Versuchen über das chemische Verhalten der Körper und ihre Zusammensetzung und Zerlegung, braucht man mancherlei Geräthe und Werkzeuge, deren Inbegriff den chemischen Hausrath ausmacht. Zu diesen gehören die Oefen, in denen Kohlenfeuer, sehr häufig auch Lampenfeuer (Lampenöfen) entweder durch einen natürlichen Luftzug (Windöfen) oder durch künstlich zugeführte comprimirte Luft (Gebläseöfen) unterhalten wird, die nicht selten mit einem gewölbten Deckel und einer Kuppel (Reverberir- oder Kuppelöfen) versehen sind, und in welchen die Körper, welche man der Hitze aussetzen will, entweder im Schmelztiegel mitten zwischen die Kohlen oder oberhalb derselben in ein eigenes Gefäß (Capelle) gestellt werden. Im letzteren Falle wird der Raum, den der Körper und das ihn enthaltende Gefäß übrig läßt, der gleichförmigen Erwärmung wegen, mit feinem trockenen Sande (Sandbad) oder mit Wasser (Wasser- oder Marienbad) ausgefüllt. Nicht minder wichtig sind Gefäße von allerlei Formen und aus verschiedenem Materiale, wie z. B. gläserne, thönerne, porzellanene, metallene Kolben, Schalen, Retorten, Vorstöße, Woulfesche Flaschen im Einzelnen oder zu einem Woulfeschen Apparate verbunden, Abrauchschalen, Filtrirgefäße nebst passenden Filtrirtrichtern, Gasentbindungsflaschen, eine pneumatische Wasser- und Quecksilberwanne, oder statt deren auch Pepy's Gasbehälter, mit den nöthigen Recipienten rc. Ungeachtet man heut zu Tage viel genauer arbeitet als früher, so braucht man doch nicht so viele Apparate. Insbesondere bedient man sich heut zu Tage bei chemischen Arbeiten fast durchgehends kleinerer Körpermengen, als es früher gebräuchlich war, und erzielt doch genauere Resultate. (Döbereiner, zur mikrochemischen Experimentirkunst. Jena 1821. *Chemical manipulation by M. Faraday. London* 1829.)

48. Den Sauerstoff kennt man im freien Zustande nur als Gas. Man erhält das Sauerstoffgas durch Zersetzung mehrerer sauerstoffhaltigen Körper, wie z. B. des schwarzen Braunsteines, des rothen Quecksilberoxydes, des chlorsauren Kali's rc. mittelst Hitze. Das Sauerstoffgas ist geschmack- und geruchlos und nicht sichtbar, es wird vom Wasser nur in sehr geringer Menge aufgenommen; es unterhält

das Athmen und Brennen viel besser als atmosphärische Luft, so zwar, daß ein Thier in einer Portion Sauerstoffgas 5—6mal länger leben kann, als in einer gleichen Portion atm. Luft, und daß Körper, die in der atm. Luft nur matt brennen, wie z. B. eine Stahlfeder, eine Kohle, im Sauerstoffgase mit ungemeiner Lebhaftigkeit verbrennen. Darum heißt dieses Gas auch Lebensluft oder Feuerluft. — Der Sauerstoff verbindet sich fast mit allen Körpern, besonders den chemisch einfachen, und erzeugt mit ihnen Oxyde im weitesten Sinne des Wortes. Den Act der Bildung dieser Verbindung nennt man Oxydation. Gibt es von demselben Stoffe mehrere Oxyde, so heißt die erste Verbindungsstufe Protoxyd, die zweite Deutoxyd 2c., die höchste Peroxyd. Manchmal wird ein Oxyd auch Oxydul oder Suboxyd, ein anderes Hyperoxyd genannt, wovon in der Folge mehr.

Am leichtesten und sehr rein erhält man das Sauerstoffgas aus dem chlorsauren Kali $KO + Cl^2O^5$, welches in einer kleinen gläsernen Retorte mit pneumatischer Vorlage mittelst einer Weingeistlampe über den Schmelzpunkt erhitzt, sich so zersetzt, daß in der Retorte KCl^2 zurückbleibt und 6 At. O ausgeschieden werden. Demnach liefert dieses Salz 39 Procente seines Gewichtes Sauerstoff, also 1 Loth davon 260 Kubikzoll oder nahe $3^1/_3$ Maß Sauerstoffgas. Das rothe Quecksilberoxyd HgO zerfällt, in einer kleinen Glasretorte mittelst einer Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge stark erhitzt, in Quecksilber, welches man in einem vorgelegten Ballon auffängt, und in Sauerstoff, der in die pneumatische Vorlage übergeht. Reiner Braunstein ist Manganhyperoxyd MnO^2, er gibt bei gelindem Glühen 9, bei heftigem Glühen 12, mit Schwefelsäure übergossen und mäßig erhitzt 18 Procente seines Gewichtes Sauerstoff ab, und verwandelt sich im ersten Falle in Manganoxyd, im zweiten in Oxyduloxyd, im dritten in Oxydul, welches letztere sich in der Schwefelsäure auflöst. Man braucht das Sauerstoffgas zu Respirationsapparaten, zur Belebung erstickter Scheintodter, zum Verbrennen schwerbrennbarer Stoffe 2c. Es hat seinen Namen daher, daß es in gewissen Fällen sauer schmeckende Substanzen bildet.

49. Auch freien Wasserstoff kennt man nur im gasförmigen Zustande; er wird durch Zersetzung des Wassers (Wasserstoffoxydes) erhalten. Das Wasserstoffgas ist farb- und geschmacklos, im reinen Zustande auch geruchlos; es ist die leichteste aller Gasarten, wird vom Wasser nur in sehr geringer Menge aufgenommen, ist weder zum Athmen, noch zur Unterhaltung des Brennens geeignet, brennt aber in Berührung mit Sauerstoffgas selbst. Mischt man zwei Volume Wasserstoffgas mit einem Volum Sauerstoffgas und zündet das Gemenge an, so verbrennt die gesammte Masse des Wasserstoffes auf einmal mit einem heftigen Knall, und ist im Stande dabei selbst starke Gefäße zu zerreißen.

Leitet man Wasserdämpfe durch ein glühendes eisernes Rohr, so wird dem Wasser der Sauerstoff entrissen, und der Wasserstoff wird frei. Am leichtesten erhält man jedoch Wasserstoffgas, wenn man verkleinertes Eisen oder Zink mit Schwefelsäure, der man Wasser zugesetzt, in Berührung bringt. Die Verwandtschaft der Schwefelsäure zum Eisen- oder Zinkoxyde nöthiget das Wasser, seinen Sauerstoff an genanntes Metall abzutreten, wodurch der Wasserstoff in Freiheit gesetzt wird.

Die fremdartigen Bestandtheile, mit welchen das auf diese Weise bereitete Wasserstoffgas wegen Unreinheit des Eisens oder Zinkes verunreiniget, und denen der Geruch desselben zuzuschreiben ist, schafft man weg, indem man es durch passende Substanzen leitet, z. B. durch Quecksilbersublimatlösung wegen eines etwa darin befindlichen Antheils von Arsenik, durch Kalihydrat wegen des Schwefels, durch Weingeist wegen des aus Kohle und Wasserstoff sich bildenden flüchtigen Oehles. Man kann das Wasserstoffgas zum Füllen der Luftbälle, zu Illuminationen und zu Zündmaschinen 2c. benützen.

50. Den Stickstoff kennt man, so wie den Sauerstoff und Wasserstoff, nur als Gas. Es besitzt fast nur negative Eigenschaften, hat keine Farbe, keinen Geschmack, keinen Geruch, wird vom Wasser fast gar nicht aufgenommen, unterhält das Brennen nicht und taugt nicht zum Einathmen.

Man erhält dieses Gas, wenn man durch irgend ein dem Sauerstoffe stark verwandtes Mittel, z. B. durch brennenden Phosphor der atmosphärischen Luft (die ein Gemenge von Sauerstoff- und Stickgas ist) den Sauerstoff entreißt. Sehr leicht bereitet man das Stickgas nach Soubeiran, wenn man ein Gemenge von 2 Theilen Salpeter und einem Theile Salmiak in einer kleinen Retorte erhitzt, und das sich entwickelnde Gas zur Reinigung durch eine Aetzkalilösung leitet. Hier zerlegen sich der Salpeter $KO + N^2O^5$, und der Salmiak $N^2H^8Cl^2$ gegenseitig; es verbindet sich der Sauerstoff und das Kalium des ersteren mit dem Wasserstoffe und dem Chlor des letztern zu Wasser und Chlorkalium, und der Stickstoff beider wird mit etwas Chlor, Salzsäure und salpetrigsaurem Gas verunreinigt, ausgeschieden.

51. Mengt man 21 Volume Sauerstoffgas mit 79 Vol. Stickgas, so erhält man Luft, wie sie in der Atmosphäre in deren reinstem Zustande vorhanden ist. Daß die atmosphärische Luft wirklich aus Sauerstoffgas und Stickgas bestehe, kann man durch Versuche beweisen. Sperrt man ein Thier oder eine brennende Kerze in eine mit dieser Luft gefüllte Glocke, so stirbt das Thier und es verlischt die Kerze nach einiger Zeit, und zwar nachdem die Luft zuvor eine Verminderung erlitten hat, aber doch nicht ganz verzehrt ist. Untersucht man den Rest derselben, nachdem man ihn vorläufig zur Entfernung der etwa durch das Athmen oder Verbrennen entstandenen fremdartigen Beimischung durch eine Auflösung von Aetzkali geleitet hat, so findet man ihn aus lauter Stickgas bestehend. Es enthält demnach die atm. Luft Stickgas, und einen zum Athmen und zur Unterhaltung des Brennens tauglichen Antheil. Gibt man eine genau abgewogene Quantität Quecksilber in eine Retorte, die mit einem, atm. Luft enthaltenden, durch Wasser gesperrten Recipienten in Verbindung steht, erhitzt das Quecksilber und erhält es einige Zeit bei einer seiner Siedhitze nahe kommenden Temperatur; so bemerkt man, daß sich die Luft im Recipienten vermindert, und daß zugleich das Quecksilber in rothes Quecksilberoxyd übergeht. Dieses wiegt mehr als das Quecksilber, woraus es entstanden ist, und zwar genau um *so viel, als das* Gewicht der verschwundenen Luft beträgt. Hat man *nicht zu wenig* Quecksilber angewendet, so charakterisirt sich die übrig *gebliebene Luft* als Stickgas. Das aus dem rothen Quecksilberoxyde

auf die oben (48) beschriebene Weise erhaltene Sauerstoffgas, gibt mit dem Stickgase gemengt, atm. Luft wieder, gerade so wie man sie ursprünglich zum Versuche gebraucht hat.

52. Das in der atm. Luft vorhandene Verhältniß zwischen Sauerstoffgas und Stickgas wird durch besondere (eudiometrische) Versuche ausgemittelt, deren Wesentliches darin besteht, daß man ein gemessenes Volum atm. Luft durch eine besondere Substanz, z. B. durch Stickstoffoxyd, Schwefelleber, Wasserstoff, Phosphor ꝛc. des Sauerstoffes beraubt und dann entweder das Volum des zurückgebliebenen Stickgases mißt, es von jenem der untersuchten Luft abzieht und so den Sauerstoffgehalt indirect sucht, oder besser, indem man diesen Gehalt aus der Gewichtsvermehrung des Körpers, der den Sauerstoff aufgenommen hat, direct ableitet. Zur indirecten eudiometrischen Untersuchung braucht man am besten Wasserstoffgas, und wendet am zweckmäßigsten Ure's oder Döbereiner's Eudiometer an; zur directen Untersuchung empfiehlt Brunner Phosphor, und bedient sich dazu eines besondern, wie es scheint, sehr zweckmäßigen Apparates.

Ure's Eudiometer besteht aus einer 3—4 Linien weiten Glasröhre, die in zwei einander parallele 8—9 Zoll lange Schenkel gebogen, an einem Ende zugeschmolzen und am geschlossenen Schenkel in gleiche Volumentheile getheilt ist. Nahe am Ende dieses Schenkels sind 2 einander gegenüberstehende Platindrähte eingeschmolzen, deren Enden im Inneren der Röhre etwa ½ Linie von einander abstehen. Diese Röhre wird zum Behufe eines eudiometrischen Versuches mit Quecksilber gefüllt, und dann in den geschlossenen Schenkel zwei Raumtheile atmosphärische Luft, und ein Rth. Wasserstoffgas eingelassen. Hierauf macht man den Quecksilberstand bei aufrechter Stellung der Röhre in beiden Schenkeln gleich, schließt den offenen, nicht ganz mit Quecksilber gefüllten Schenkel mit dem Finger, und läßt mittelst der Platindrähte einen elektrischen Funken durch das eingefüllte Gas schlagen. Die unter dem Finger befindliche Luft dient ihrer Zusammendrückbarkeit wegen dazu, den Impuls des in dem andern Schenkel explodirenden Gasgemenges auf das Quecksilber zu mäßigen, und leistet dabei so viel Widerstand, daß von dem abgeschlossenen Gasrückstande nichts entweichen kann. Sobald das Luftvolum sich verringert hat, schüttet man durch den offenen Schenkel Quecksilber zu, um den Stand desselben wieder in beiden Schenkeln gleich zu erhalten, und mißt dann das Luftvolum, um auf die erlittene Verminderung schließen zu können. Ein Drittel derselben gibt den Gehalt an Sauerstoffgas an. Volta's Eudiometer ist selbst mit der von Pepys und Gay-Lussac angebrachten Verbesserung noch complicirter als dieser Apparat. (Ure's Handwörterbuch der praktischen Chemie. Weimar 1825. S. 487). Döbereiner füllt die atm. Luft und das Wasserstoffgas in eine einerseits geschlossene graduirte Glasröhre ein, und bewirkt die Verbrennung durch ein auf sehr sinnreiche Weise eingeführtes Kügelchen Platinschwamm. (Dessen Beiträge zur phys. Chemie. Hft 2, S. 62) Brunner's eudiometrischer Apparat besteht aus einer Glasröhre a b (Fig. 5), welche an beiden Enden in ein enges Röhrchen ausgezogen ist, in einer Länge von etwa 7 Zoll trockene Baumwolle, und weiter gegen a aber 12 — 13 Gran trocknen und an die Röhrenwand angeschmolzenen Phosphor enthält, ferner aus einem Gefäße A, das durch eine Cautschukröhre mit b verbunden ist, unten einen Sperrhahn hat, beim Versuche mit Quecksilber oder Olivenöhl gefüllt wird, und die Bestimmung hat, in dem Maße, als

man diese Flüssigkeit durch den Hahn abfließen läßt, durch die Röhre a b Luft einzusaugen, endlich aus dem Gefäße B, womit man das Volum der ausgeflossenen Flüssigkeit, und hierdurch zugleich jenes der durch a b eingesaugten Luft mißt. Durch einen vorläufigen Versuch wird die in a b enthaltene Luft durch einen Theil des Phosphors und der von der Baumwolle eingesaugten phosphorigen Säure alles Sauerstoffes beraubt, hierauf die Röhre in a und b zugeschmolzen und so aufbewahrt. Will man ein eudiometrisches Experiment machen, so wiegt man die Röhre sammt ihrem Inhalt genau, bricht dann die Spitzen ab und legt sie zur Seite, verbindet a b mit dem Gefäße A, das bereits mit Oehl oder Quecksilber gefüllt ist, stellt das Meßgefäß B unter, erhitzt den Phosphor, öffnet dann den Hahn und läßt die Flüssigkeit aus A nach B abfließen. Damit in a nur trockene Luft eingesaugt werde, setzt man daselbst ein mit Chlorcalcium versehenes offenes Rohr an, durch welches die Luft zum Phosphor gelangt. Sobald die Flasche B mit der abfließenden Masse gefüllt ist, wird der Hahn geschlossen, die Röhre in a und b zugeschmolzen und sammt den vorher abgeschnittenen Spitzen wieder gewogen. Die Gewichtszunahme gibt das Gewicht des Sauerstoffes an, den das durch a b geleitete, der in B gesammelten Flüssigkeit an Volum gleiche Luftquantum enthielt. Es scheint, als könnte man nach dieser Methode den Sauerstoffgehalt bis auf 0.1 pCt. genau bestimmen, während dieses das Wasserstoffgas-Eudiometer kaum bis auf 0.5 pCt. zu thun gestattet. Brunner in Pogg. Ann. 27. 1; 31. 1; 38. 264. Rose's analytische Chemie. Berlin 1838. Bd. 2. 671.

53. Eudiometrische Versuche haben gelehrt, daß in 100 Rth. atm. Luft 21 Rth. Sauerstoffgas und 79 Rth. Stickgas enthalten seyen, man mag die Luft zu was immer für einer Jahres- oder Tageszeit, am festen Lande oder am Meere, nahe am Boden oder in großen Höhen, im Freien oder an Orten, die von Menschen längere Zeit gedrängt voll waren, genommen haben. Die fremdartigen Beimischungen, welche wir oft durch den Geruch erkennen oder die auf unsere Gesundheit schädlich einwirken, lassen sich nicht nachweisen, wiewohl an ihrem Daseyn nicht zu zweifeln ist.

Berthollet zerlegte die Luft von Paris und Cairo, De Marti die in Catalonien in allen Monaten des Jahres und zu verschiedenen Stunden des Tages, Berger die zu Genf und in den Schweizergebirgen, Biot auf Formentera und Yviza, Kupffer in Kasan, Davy die Luft in England und Guinea, Gay-Lussac die 3383 P. Kl. über der Erde aufgefangene, Vogel die eine halbe Meile vom Lande über dem Meere geschöpfte, Hermbstädt die an der Ostsee, Configliachi die über bewässerten Reisfeldern, Séguin die Luft in einem vollen Theater, Ed. Davy in einem Hospitale; allein überall fand man sie von gleichem Gehalte an Sauerstoff und Stickstoff.

54. Chlor läßt sich im reinen Zustande als Gas und als tropfbare Flüssigkeit darstellen. Man erhält es aus Kochsalz oder aus Salzsäure durch gehörige Behandlung. Das Gas hat eine weingelbe Farbe, einen unangenehmen Geruch, ist zum Einathmen nicht nur nicht tauglich, sondern höchst schädlich, und verursacht Husten, Schnupfen, Brustbeklemmungen, ja sogar den Tod, brennt nicht, gestattet aber anderen Körpern, wie z. B. einem Wachslichte, im Brennen fortzufahren, ja einige Körper, wie z. B. Spießglanz, entzünden sich darin

von selbst; es zerstört alle organischen Körper, mit Ausnahme der Kohle, entfärbt sie aber anfangs, ferner die Miasmen, daher es zum Bleichen und zum Räuchern bei ansteckenden Krankheiten vorzüglich dient. Durch starke Compression wird es tropfbar dargestellt, und da bildet es eine sehr bewegliche, dunkel grünlichgelbe Flüssigkeit, welche bei — 15° R. noch nicht gefriert. Leitet man Chlorgas durch Wasser, so wird es von demselben absorbirt, und das Wasser bekommt dann alle Eigenschaften des Gases; es ist grünlichgelb, riecht nach dem Gase, läßt dieses auch beim Erwärmen entweichen, und wird durch das Licht zersetzt; läßt man vom Wasser viel Chlorgas absorbiren, so setzen sich darin gelbliche Krystalle ab, die Chlor in Verbindung mit Wasser sind. Sie sind sehr flüchtig und lassen sich sublimiren, werden aber auch leicht in Chlorgas und Wasser zersetzt.

Um Chlorgas zu bereiten, übergießt man ein Gemenge von 1 Th. schwarzen Braunstein und 3 Th. Kochsalz mit $2\frac{1}{2}$ Th. Schwefelsäure, die man mit 4 Th. Wasser verdünnt hat, und setzt das Ganze einer geringen Hitze aus. Kommen nämlich Kochsalz NCl^2, Braunstein MnO^2 und Schwefelsäure SO^3 zusammen, so wird das Natrium des Kochsalzes auf Kosten des Braunsteins oxydirt und in Natron NO verwandelt, um sich in der Schwefelsäure aufzulösen, welche gleichfalls das Manganoxydul angreift. Das frei gewordene Chlor geht in Gasgestalt davon. Mit gleichem Erfolge kann man auch Salzsäure HCl und Braunstein anwenden. Hier verbindet sich der Wasserstoff der Salzsäure mit dem Sauerstoffe des Braunsteins zu Wasser, und eine Hälfte des Chlors der Salzsäure mit dem Mangan, während die andere Hälfte des Chlors frei wird. Die Anwendung des Chlors als Bleich- und Luftreinigungsmittel ist sehr wichtig. Man braucht heut zu Tage selten mehr dazu das Gas oder das Chlorwasser, sondern meistens Chlorkalk, Chlorkali oder Chlornatrum. Zum Behufe der Luftreinigung wird ein solcher Körper in einer flachen Schale mit Wasser übergossen und in der Luft stehen gelassen; zur Reinigung von Kleidern, Betten werden dieselben mit einer solchen Flüssigkeit gewaschen; Briefe werden durchstochen und mit Chlorgas geräuchert.

55. Das Brom wurde im Jahre 1826 von Balard zuerst im Wasser aus dem mittelländischen Meere, nachdem das Kochsalz herauskrystallisirt war, gefunden, bald darauf aber auch aus dem Wasser des todten Meeres und aus vielen Salzsoolen und Mineralquellen ausgeschieden. Es erscheint bei der gewöhnlichen Luftwärme als dunkelbraune, in dünnen Schichten hyacinthrothe Flüssigkeit von äußerst unangenehmen Geruche (daher sein Name von βρωμος, Gestank), verdünstet stark in der Luft, siedet schon bei 47° C., und friert erst bei — 18°, wo es dann als bleigraue, spröde, metallglänzende Masse erscheint, ist im Wasser, Alkohol und Aether, wohl auch im Baumöhl löslich, sinkt aber in der Schwefelsäure unverändert unter. Es färbt die Haut vorübergehend dunkelgelb, und bleicht Pflanzenfarben wie das Chlor.

56. Das Jod (von ιοειδης, Veilchenblau) wurde zuerst 1812 von Courtois in der Mutterlauge des Seetanges, später aber in mehreren Seepflanzen, im Kropfschwamm, selbst in Mineralien und in

Quellen (Hall in Oberösterreich) gefunden. Es ist eine feste, dunkelgraue, fast wie Metall glänzende, leicht zerreibliche Substanz, welche die Haut vorübergehend schmutzig gelb färbt, einen unangenehmen, dem Chlor ähnlichen Geschmack hat, stark auf den Organismus wirkt, sich schwer im Wasser, aber leicht im Weingeiste auflöset. Durch Wärme läßt es sich in ein schön violettes Gas verwandeln.

57. Der Schwefel ist ein blaßgelber, undurchsichtiger, bei geringer Temperatur zerreiblicher, schwach schmeckender Körper, der in der Luft bei gehöriger Hitze mit einem erstickenden Geruche und einer bläulichen Flamme verbrennt. Wird er in verschlossenen Gefäßen über 111° C. erhitzt, so wird er weich und schmilzt endlich zu einer gelben, durchsichtigen öhlartigen Flüssigkeit, die bei 160° anfängt, braun und dickflüssig zu werden, und in Wasser gegossen, lange weich bleibt. Bei 316° siedet er und gibt einen pomeranzengelben Dampf, der sich an kältere Körper in fester Form (Schwefelblumen) anlegt. Der Schwefel ist im Wasser gar nicht, im Weingeist nur wenig auflöslich; mittelst Wärme bildet er mit Oehlen die sogenannten Schwefelbalsame. Er kommt in der Natur gediegen, selbst krystallisirt, häufiger in Verbindung mit Metallen vor, endlich auch in vielen organischen Körpern, z. B. in den Eiern, im Harn, in der Galle.

58. Selen ist ein spröder, in Masse bleigrauer, metallisch glänzender, gepulvert aber dunkelrother, durchscheinender, im Wasser unlöslicher Körper, der bei 100° weich, in höherer Temperatur gar flüssig wird, und sich beim Erkalten in Fäden ziehen läßt. Es siedet vor dem Glühen, und gibt dabei einen gelben Dampf, läßt sich entzünden und verbrennt mit Rettiggeruch und röthlichblauer Flamme. Man erhält das Selen aus dem röthlichen Schlamme, der sich beim Verbrennen des Schwefels absetzt, und auch aus einem besondern Mineral, dem Selenblei. Berzelius hat es im Jahre 1817 entdeckt.

59. Der Phosphor ist ein wachsgelber, bei niederer Temperatur spröder, bei etwas hoher biegsamer, fettig glänzender Körper. Er leuchtet im Dunkeln, schmilzt und entzündet sich sehr leicht, darum er beständig unter Wasser aufbewahrt werden muß; er löset sich im Weingeiste schwer, in ätherischen Oehlen leicht auf, und gibt dann eine nicht so leicht brennbare, aber doch leuchtende Masse, die man zu Zündhölzchen oder zu leuchtender Pomade verwenden kann. Er findet sich in allen drei Naturreichen, besonders aber in thierischen Knochen, aus denen er auch meistens gewonnen wird.

60. Fluor ist ein Stoff, der bisher nur von Davy in sehr geringer Menge für sich dargestellt wurde. Er erscheint als braune Substanz, und ist der einzige Körper, von dem man keine Sauerstoffverbindung mit völliger Bestimmtheit kennt.

61. Bor wird durch Zersetzung der Borsäure mittelst Kalium erhalten, und stellt ein undurchsichtiges, dunkelgrünes, stark abfärbendes, geruch- und geschmackloses Pulver vor, das sich, frisch bereitet und bevor es geglüht wird, im Wasser auflöset und in der Luft bei

der gewöhnlichen Temperatur unverändert bleibt, bei erhöhter Temperatur hingegen mit Funkensprühen verbrennt.

62. **Kiesel** wird aus kieselflußsaurem Natrum mittelst Kalium erhalten. Es ist ein fester, glanzloser, dunkelbrauner, stark schmutzender, unschmelzbarer Körper, der viel Aehnlichkeit mit Bor hat, und sich zu ihm wie Selen zu Schwefel, oder wie Chlor zu Jod verhält. Kiesel bleibt im Sauerstoffgas unverändert, nur wenn es kürzlich bereitet und noch nicht in der Luft erhitzt worden ist, kann es darin durch gelindes Erhitzen zum Verbrennen gebracht werden, wo es die Kieselsäure gibt; es brennt auch in Chlorgas und bei hoher Temperatur in Schwefeldunst; mit Salpeter kann man es glühen, ohne es dadurch zu verändern, aber mit kohlensaurem Kali vermengt, und dann bis zum Glühen erhitzt, detonirt es. Es geht mit vielen Körpern Verbindungen ein, und liefert Producte, worunter das merkwürdigste die Kieselsäure ist, die man einst unter die Erden zählte und Kieselerde nannte.

63. **Kohle** (Kohlenstoff) ist ein brennbarer, geschmack- und geruchloser, unschmelzbarer Stoff, der sich weder im Wasser, noch im Weingeiste oder in Oehlen auflöset, und selbst den stärksten Säuren widersteht; er kommt am reinsten als Diamant vor, in der Pflanzen- und Thierkohle, ist er mit mehreren anderen Körpern, besonders in jener mit Wasserstoff, in dieser mit Stickstoff verbunden. Er ist ein Bestandtheil aller organischen Körper, kommt aber auch in vielen Mineralkörpern, wie z. B. im Graphit, in der Kohlenblende ꝛc. reichlich vor. Nach **Colquhoun** setzt er sich bei der Stahlbereitung Macintosh's aus seiner Verbindung mit Wasserstoff in Gestalt feiner, metallisch glänzender Haare ab.

64. Die bisher betrachteten Elemente heißen gemeiniglich **nicht metallische**, alle übrigen (41) hingegen **metallische**. Es hat zwar jedes der letzteren, so gut wie die bereits besprochenen, einen eigenthümlichen Charakter, aber alle zusammen haben auch so viel Gemeinschaftliches, die metallische Natur überhaupt charakterisirendes, daß es für unseren Zweck genügt, nur diese allgemeine Charakteristik hier kurz zu entwerfen. Die **Metalle** unterscheiden sich von anderen Grundstoffen durch ihren eigenthümlichen Glanz, ihre Geschmack- und Geruchlosigkeit, Undurchsichtigkeit und Unauflöslichkeit im Wasser. Sie heißen im reinen Zustande **Metallkönige** oder regulinische Metalle. Wenige derselben kommen in der Natur in diesem Zustande vor, die meisten finden sich vererzt (mit Schwefel verbunden), verlarvt in Verbindung mit anderen Metallen, oder oxydirt. Mehrere Metalle sind hämmerbar und streckbar, sie lassen sich zu Platten walzen, zu Draht ziehen ꝛc., wie z. B. Gold, Silber, Platin, Kupfer; andere sind spröde, wie Spießglanz, Wismuth; deßhalb theilte man sie einst in ganze (streckbare) und in Halbmetalle ein, ungeachtet sich zwischen beiden keine feste Grenze angeben läßt, und dasselbe Metall durch bloß mechanische Behandlung dehnbar oder spröde werden kann, mithin bald in die eine, bald in die

andere Classe gehören müßte. Alle Metalle sind schmelzbar, jedoch fordert jedes Metall einen eigenen Hitzegrad zum Schmelzen. So ist das Quecksilber schon bei der gewöhnlichen Luftwärme flüssig, Kalium und Natrium sind bei derselben Temperatur weich. Zinn, Blei, Wismuth schmelzen im leichten Ofenfeuer, während kaum das stärkste Feuer Eisen, Uran, Titan, Platin zu schmelzen vermag. Kalium, Natrium, Eisen und Platin werden vor dem Zerfließen weich, können daher geschweißt werden, andere Metalle bleiben aber hart bis zum Augenblicke des Schmelzens, ja einige werden noch härter. Alle Metalle können in Dämpfe verwandelt werden. Quecksilber, Zink, Arsenik verflüchtigen sich leicht, Gold, Platin erst bei der größten Hitze. Beim Erkalten krystallisiren alle Metalle unter günstigen Umständen. Bei den spröden läßt sich das Krystallgefüge am leichtesten erkennen. Die meisten Metalle lassen sich mit einander verbinden und geben Gemische, die man Legirungen, oder wenn Quecksilber einen Bestandtheil ausmacht, Amalgame nennt. Diese Gemische sind meistens härter, elastischer und minder dehnbar, als die Bestandmetalle, wie man es am Messing, Glockengut ꝛc. sieht; sie sind leichter schmelzbar, bilden daher für die einfachen Metalle die Lothe und krystallisiren leichter als die einfachen Metalle. Einige Metalle hängen schon zusammen, wenn nur eines davon flüssig ist. Darauf beruht das Löthen, Vergolden, Versilbern ꝛc. — Die Metalle verbinden sich mit Sauerstoff, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Phosphor, Selen, Kiesel, Fluor, Bor und Kohle. Durch Sauerstoff verlieren sie ihren Metallglanz, ihre Consistenz und werden nicht selten im Wasser auflöslich. Einige oxydiren sich schon bei der gewöhnlichen Luftwärme und entreißen den Sauerstoff sogar dem Wasser, wie z. B. Kalium; andere aber müssen erhitzt werden, um den Sauerstoff aufzunehmen, wie z. B. Quecksilber; andere nehmen ihn aber selbst in der größten Hitze nicht auf, und können daher nur durch Sauerstoffsäuren oxydirt werden, wie Gold, Platin. Hierauf beruht die alte Eintheilung der Metalle in edle und unedle. Einige Metalle oxydiren sich durch und durch, wie Eisen; andere überziehen sich nur an der Oberfläche mit Oxyd, werden aber im Innern durch die äußere Rinde vor der ferneren Oxydation geschützt, wie Kupfer, Bronze.

65. Aus den hier angeführten Grundstoffen bestehen alle Körper, sowohl die organischen als die unorganischen. Man kann nicht jeden Stoff, der sich in seine Bestandtheile zerlegen läßt, wieder aus denselben zusammensetzen. Dieses gilt namentlich von den meisten, die unter dem Einflusse der Lebensthätigkeit gebildet werden, und man kann kein Blut, kein Fleisch, keine Pflanzenfaser auf chemischem Wege erzeugen, ungeachtet man die Grundstoffe, aus denen diese Körper bestehen, nicht bloß der Qualität, sondern auch der Quantität nach ziemlich genau kennt.

66. Die chemisch zusammengesetzten Körper lassen sich wahrscheinlich, wie die einfachen, in eine Reihe zusammenstellen, in der sie nach Maßgabe ihrer chemischen Differenz auf einander folgen, und jeder in

dieser Reihe vorangehende kann gegen einen nachfolgenden als negativ, der folgende selbst aber als positiv angesehen werden; doch kann man diese Reihe noch nicht darstellen, theils wegen der bei der großen Anzahl der Körper obwaltenden Schwierigkeit der Anordnung, theils wegen der Lücken, die ohne Zweifel noch Statt finden, und erst durch die Erfahrung ausgefüllt werden müssen. Bei Verbindungen der zweiten Ordnung, und oft auch bei höheren ist einer der Stoffe Säure, der andere Basis. Verbindungen aus Säure und Basis heißen Salze. Ein zusammengesetzter Stoff, der weder Säure, Basis oder Salz ist, heißt indifferent.

67. Säure heißt, der Wortbedeutung nach, jeder Körper, der einen sauren Geschmack erregt. Da aber sauer schmeckende Körper zugleich den Veilchensyrup und eine Lackmusauflösung röthen, und zwar selbst dann noch, wenn sie durch Wasser so sehr verdünnt sind, daß sie den Geschmackssinn nicht mehr zu afficiren vermögen; so hielt man jene Wirkung für geeigneter zu einem charakteristischen Kennzeichen, und betrachtete alles als Säure, was diese Farbenänderung hervorbringt, wenn es auch nicht sauer schmeckt, wie z. B. die Blausäure, die Schwefelwasserstoffsäure. Allein damit ein Körper diese Farbenänderung hervorbringen könne, muß er im Wasser löslich seyn, und doch gibt es viele Körper, die mit den Lackmus, Veilchensyrup &c. röthenden in allen, ihre chemische Natur charakterisirenden Eigenschaften (besonders in ihrem elektrischen Verhalten) übereinstimmen, und daher mit denselben in eine Classe gezählt werden müssen, ohne im Wasser auflöslich zu seyn, wie z. B. die Kieselsäure; darum nennt man heut zu Tage alle jene Körper Säuren, die in ihrem chemischen Verhalten mit den, gewisse Pflanzenfarben röthenden, übereinstimmen. Diesem Verhalten gemäß, ist ein Körper nicht an und für sich, sondern bloß im Verhältnisse zu anderen eine Säure, und kann im Verhältnisse mit wieder anderen diesen Charakter, ohne eine Aenderung seiner inneren Natur, verlieren, indem der Begriff Säure in dem heutigen Sinne bloß etwas Relatives bezeichnet.

68. Jede Säure besteht aus einem säurefähigen Radicale und aus dem säuernden Princip; ersteres ist bald ein chemisch einfacher, bald, und zwar bei den organischen Säuren fast immer, ein zusammengesetzter Körper, letzteres fast immer ein Grundstoff, und zwar meistens Sauerstoff, doch kann für einige Radicale die Stelle desselben auch Chlor, Jod, Brom, Fluor, Schwefel, Selen, ein Metall oder gar ein zusammengesetzter Körper, z. B. Cyan (ein aus Stickstoff und Kohlenstoff bestehender Körper), Schwefelcyan &c. vertreten. Säuren ohne Sauerstoff haben zum Radicale meistens Wasserstoff (es können aber auch andere Körper den Wasserstoff vertreten, wie z. B. Wolfram in der wolframschwefeligen Säure); daher werden die Säuren überhaupt (aber wie es scheint gegen die logischen Regeln) in Sauerstoff- und Wasserstoffsäuren eingetheilt. Manches Radicale verbindet sich in mehreren Verhältnissen mit dem säuernden Princip, und liefert demnach mehrere Säuren, die sich nicht durch die Natur ihrer Be-

standtheile, sondern durch ihr quantitatives Verhältniß von einander unterscheiden, ja es gibt Fälle, wo sogar bei demselben quantitativen und qualitativen Verhältnisse verschiedene Säuren zum Vorschein kommen. Hier liegt der Unterschied bloß in der mehr oder weniger innigen Verbindung der Atome.

Die zusammengesetzten Stoffe, welche bei der Säurebildung die Rolle des säurenden Princips zu übernehmen vermögen, sind den einfachen Stoffen so analog, daß sie, wenn man die Stoffe überhaupt nur nach der Aehnlichkeit ihres chemischen Verhaltens zusammenstellt, in der Reihe der einfachen Stoffe eine Stelle in Anspruch nehmen, und deßhalb auch selbstständige Zeichen erhalten. Einer der wichtigsten dieser Stoffe, das dem Chlor analoge Cyan $Cy = NC$, von Gay-Lussac im Jahre 1814 entdeckt, erscheint als farbloses Gas, von durchdringendem Geruche, ist giftig, wird vom Wasser absorbirt, und brennt mit schön violetter Flamme. Man erhält es, wenn man Cyanquecksilber $Hg\,Cy^2$ in einer kleinen Retorte über einer Weingeistlampe erhitzt. In einer 2—3 Linien weiten gebogenen geschlossenen Glasröhre entwickelt, dient es als bequemes gefahrloses Beispiel der Tropfbarmachung eines Gases nach Faraday's Methode.

69. Man benennt die Säuren in der Regel nach ihren Bestandtheilen, und zwar, wenn sie Sauerstoffsäuren sind, bloß nach dem Radicale, indem man demselben das Wort Säure nachsetzt; sind sie Wasserstoffsäuren, so setzt man dem Säureprincip die Sylbe Hydro vor. So heißt die aus Jod und Sauerstoff bestehende Säure Jodsäure, eine aus Chlor und Sauerstoff zusammengesetzte Chlorsäure; aber die aus Jod und Wasserstoff gebildete Säure wird Hydrojodsäure, die aus Chlor und Wasserstoff gebildete Hydrochlorsäure genannt. Verbindet sich ein Radicale in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff, so wird die den meisten Sauerstoff enthaltende saure Verbindung nach der vorhergehenden Regel, die mit der nächst kleineren Sauerstoffmenge durch das Radicale, als Adjectiv gebraucht, mit Beifügung der Sylbe ig benannt. So heißt z. B. die aus Chlor mit der größeren Sauerstoffmenge bestehende Säure, Chlorsäure, die mit der nächst kleineren Sauerstoffmenge, chlorige Säure. Kennt man von einem Stoffe mehr als zwei Säuren, so bezeichnet man die Rangordnung der übrigen dadurch, daß man den auf die vorbezeichnete Weise gebildeten Bezeichnungen die Sylbe Ueber oder Unter vorsetzt. So gibt es vier aus Schwefel und Sauerstoff bestehende Säuren, die ihrem Range nach so auf einander folgen: Schwefelsäure, Unterschwefelsäure, schwefelige Säure, unterschwefelige Säure. Die Säuren des Chlor heißen nach dem Grade ihrer Oxydation: Ueberchlorsäure, Chlorsäure, chlorige Säure 2c. Man sucht die Benennungen immer so zu wählen, daß der Name einer bereits bekannten und benannten Säure durch eine neu entdeckte nicht geändert zu werden braucht. Manche oft vorkommende Säuren haben auch triviale Benennungen, die von ihrem Gebrauche, von dem Stoffe, aus dem sie erzeugt werden 2c. hergenommen sind. So z. B. nennt man die verdünnte Stickstoffsäure Scheidewasser, weil sie zum Scheiden des Goldes, wel-

ches sich nicht darin auflöst, von anderen Metallen gebraucht wird, oder weil sie aus Salpeter gewonnen wird, Salpetersäure; die meistens aus Kochsalz bereitete Hydrochlorsäure heißt Salzsäure ꝛc.

Da der Charakter einer Säure ein bloß relativer ist, so muß es unter den Säuren eine Rangordnung geben, so daß von zwei Säuren, die sich mit einander verbinden, eine sogar die Stelle der Base vertreten kann. Viele Säuren finden sich in freiem oder in einem an einen Stoff gebundenen Zustande in der Natur, können aber auch durch Kunst bereitet werden; manche werden bloß durch Kunst bereitet, manche kann man aber durchaus nicht aus ihren Bestandtheilen zusammensetzen. Letzteres gilt insbesondere von den organischen (den Pflanzen- und Thier-) Säuren, deren Grundlage meistens Kohle und Wasserstoff, oder Kohle, Wasserstoff und Stickstoff ist. Einige Säuren sind selbst für den Physiker besonders wichtig, weßhalb sie hier kurz charakterisirt werden.

Die Salpetersäure N^2O^5 oder vielmehr deren Hydrat $N^2O^5 + H^2O$ erhält man, wenn man verkleinerten Salpeter mit fast gleicher Gewichtsmenge (97. pCt.) concentrirter Schwefelsäure mäßig erhitzt, wobei Salpetersäure mit einem Antheil Wasser (ohne welches sie nicht existiren kann, sondern sogleich in Stickstoff und Sauerstoff zerfällt) ausgeschieden wird, und in die Vorlage übergeht. Der Salpeter ist $KO + N^2O^5$, die hier anzuwendende Schwefelsäure $2(SO^3 + H^2O)$. In der Retorte bleibt zweifach schwefelsaures Kali, in Verbindung mit einem Antheile Wasser, d. i. $KO + 2SO^3 + H^2O$, während $N^2O^5 + H^2O$ frei wird. Nimmt man, wie früher gebräuchlich war, bloß halb so viel Schwefelsäure als Salpeter, so ist eine höhere Temperatur zur Operation nöthig; in der Retorte bleibt zuletzt einfach schwefelsaures Kali zurück, aber es wird, wie Mitscherlich, dem wir die Aufklärung über diese Vorgänge verdanken, gezeigt hat, ein Theil der Salpetersäure zerlegt und geht verloren, was man an der reichlichen Entwicklung von Sauerstoffgas erkennt. Während der Operation selbst entwickeln sich gelblich rothe Dämpfe, die sich in einer Vorlage zu einer orangefarbigen, tropfbaren Flüssigkeit verdichten lassen, welche beständig Dämpfe, wie die, woraus sie entstanden ist, aussendet und rauchende Salpetersäure heißt. Sie ist eine Verbindung von Salpetersäure und salpetriger Säure, aus der man erstere erhält, wenn man letztere durch Hitze oder durch Zugießen von Wasser vertreibt. Im ersteren Falle erhält man sie concentrirt, im letzteren verdünnt, wo sie dann, wenn sie bereits perlblau oder wasserhell geworden ist, doppeltes oder einfaches Scheidewasser heißt. Die reine Salpetersäure hat einen sehr sauren Geschmack, färbt die thierische Haut und andere organische Körper dauerhaft gelb, zerstört die Pflanzenfarben mit der Zeit, verbindet sich unter Wärmeentwicklung mit Wasser, zieht dasselbe sogar aus der Atmosphäre an; sie nimmt keinen Sauerstoff mehr auf, tritt aber gerne einen Theil desselben an leicht oxydirbare Körper ab, und verwandelt sich dann in salpetrige Säure N^2O^3 oder gar in Stickstoffoxyd N^2O^2 (Salpetergas), oder in oxydirtes Stickgas N^2O (Stickstoffoxydul), ja sie kann sogar denselben ganz fahren lassen. Uebergießt man daher Kupferfeile mit Scheidewasser, so erhält man, während sich das Metall auf Kosten eines Theiles der Säure oxydirt, um sich in dem übrigen Theile derselben aufzulösen, das Salpetergas als eine farblose Gasart, welche vom Wasser nur in geringer Menge aufgenommen wird, aber in Berührung mit atm. Luft oder mit Sauerstoffgas sich sogleich wieder oxydirt und rothe Dämpfe liefert, ein Gemenge von salpetriger und Salpetersäure, die vom Wasser verschluckt werden. Wird Zink in sehr verdünnter Sal-

petersäure aufgelöst, oder dem Salpetergas durch feuchte Eisenfeile Sauerstoff entzogen, so erhält man Stickstoffoxydul, ein farbeloses Gas, welches vom Wasser absorbirt wird, und eingeathmet einen eigenthümlichen, dem Rausche ähnlichen Zustand hervorruft. Man kann es auch durch Zerlegung des salpetersauren Ammoniaks $N^2 H^6 + N^2 O^5$ bereiten, das erhitzt in Stickoxydul und Wasser zerfällt.

Die Salzsäure HCl (Chlorwasserstoffsäure) erhält man, wenn man Kochsalz mit 84 pCt. Schwefelsäure vorsichtig übergießt und hierauf erwärmt. Sie erscheint in Gestalt weißer Dämpfe, die sich zu tropfbarer Säure verdichten lassen (welche aber noch immer Dämpfe ausstoßt), und darum auch rauchende Salzsäure heißt. In reiner Gasgestalt ist sie farbelos, unathembar, weder brennbar, noch das Brennen nährend, röthet Pflanzenfarben, ohne sie zu zerstören, macht aber die organischen Körper mürbe, und erregt auf der Haut eine stechende Empfindung. Ein Gemische von Salzsäure und Salpetersäure führt den Namen Königswasser, weil sich Gold darin auflöset.

Schwefelige Säure SO^2 ist das erstickende Gas, das sich beim Verbrennen des Schwefels erzeugt, und das man auch erhält, wenn man Quecksilber mit Schwefelsäure übergießt und hierauf erhitzt. Es ist farbelos, hat einen erstickenden Geruch, ist weder selbst brennbar, noch unterhält es das Brennen anderer Körper, bleicht thierische Substanzen, wird vom Wasser absorbirt, und so in tropfbare Säure verwandelt, kann aber durch starke Erkältung oder durch einen nur etwas starken Druck tropfbar werden, und stellt dann eine wasserklare Flüssigkeit dar, welche schon bei $- 10^{\circ}$ C. siedet.

Von der Schwefelsäure kommen im Handel zwei Sorten vor; die weiße englische und die braune sächsische (oder das Nordhauser Oehl). Erstere wird durch Verbrennen des Schwefels, unter Zusatz von Salpeter, bereitet. Hier wird ein Theil der sich bildenden schwefligen Säure auf Kosten der Säure des Salpeters oxydirt, und in Schwefelsäure verwandelt, welche mit dem Kali des Salpeters sich verbindet; die zerlegte Salpetersäure liefert Stickstoffoxyd, welches aus der atmosphärischen Luft Sauerstoff aufnimmt, in salpetrige Säure übergeht, die dann, wenn Wasser zugegen ist, sich wieder auf Stickstoffoxyd reducirt, um der schwefeligen Säure Sauerstoff abzutreten, damit Schwefelsäure, die eine große Verwandtschaft zum Wasser hat, sich bilde; das Stickstoffoxyd nimmt sodann aus der atmosphärischen Luft ein neues Sauerstoffquantum auf, welches wieder auf die schwefelige Säure übertragen wird u. s. w. Das Nordhauser Oehl wird durch Destillation des calcinirten Eisenvitriols erhalten. Die auf dem einen oder dem andern Wege gewonnene Säure muß erst durch Destillation concentrirt und gereiniget werden. Die wässerige reine Schwefelsäure (ein Hydrat der wasserfreien Schwefelsäure, nämlich $SO^3 + H^2O$) ist ein wasserheller, geruchloser, wie Oehl flüssiger Körper, der alle Eigenschaften einer starken Säure hat, mit Wasser sich heftig erhitzt, selbes schon aus der Atmosphäre stark anzieht, und es überhaupt überall aus seinen Bestandtheilen zu bilden sucht. Daher kommt auch die zerstörende und verkohlende Kraft, mit welcher sie auf alle organischen Körper wirkt, und selbst das Schwarzwerden dieser Säure in Berührung mit organischen Stoffen oder mit der Luft, die organische Ausdünstungen enthält. Erhitzt man braune Schwefelsäure die, eine Verbindung des vorerwähnten Hydrates der Schwefelsäure, mit einem andern, weniger Wasser enthaltenden ist, in einer Retorte mit vorgelegtem gekühlten Ballon, so sammeln sich in letzterem asbestartige Krystalle, die wasserfreie Schwefelsäure SO^3 darstellen.

Die Schwefelwasserstoffsäure (Hydrothionsäure) H^2S erhält man durch Erwärmen des rohen, mit Salzsäure übergossenen Spießglanzes. Sie bildet ein farbloses, nach faulen Eiern riechendes, wohl zum Selbstbrennen, aber nicht zum Unterhalten des Brennens anderer Körper taugliches, für die Respiration höchst nachtheiliges Gas. Es wird vom Wasser aufgenommen, läßt sich aber auch ohne Wasser durch starken Druck tropfbar darstellen, und liefert dann eine ungemein bewegliche, wasserhelle Flüssigkeit. Die wässerige Säure hat den Geruch des Gases und wird in der Luft zersetzt.

Die Phosphorsäure P^2O^5 bildet einen festen, äußerst feuerbeständigen, schwach sauer schmeckenden, im Wasser löslichen Körper. Sie wird aus thierischen Knochen mittelst Schwefelsäure bereitet. Man kennt auch eine phosphorige und unterphosphorige Säure.

Die Flußsäure HF (Fluorwasserstoffsäure) erhält man durch Zerlegung des Flußspathes (Calciumfluorides) mittelst Schwefelsäure. Sie erscheint da in Gasgestalt, ist höchst irrespirabel, weder selbst brennbar noch das Brennen anderer Körper unterhaltend, löset das Glas auf, daher man es zum Aetzen desselben brauchen kann, und erregt auf der Haut schmerzhafte Geschwüre; es wird vom Wasser absorbirt, und ertheilt demselben seine, Kieselerde und Glas auflösende Kraft.

Die Kohlensäure CO^2 erscheint in der Regel als Gas, kann aber auch tropfbar und fest dargestellt werden (37). Als Gas ist sie schwerer als atmosphärische Luft, zur Unterhaltung des Brennens und Athmens ganz untauglich, wird vom Wasser leicht absorbirt, und ertheilt demselben einen angenehmen säuerlichen Geschmack; sie widersteht der Fäulniß mächtig. Sie findet sich als Gas an vielen Orten der Erde, und strömt hie und da von selbst aus besonderen Oeffnungen mit oder ohne Wasser hervor, wie z. B. beim Sprudel in Karlsbad, an einigen Orten am Rhein; sie entwickelt sich auch beim Athmen, beim Verbrennen der Kohle, bei der Weingährung, und wird auch künstlich durch Schwefelsäure aus Kreide, Marmor, d. i. aus kohlensaurem Kalke, ꝛc. ausgetrieben. Man benützt sie häufig zur Bereitung künstlicher Mineralwässer. — Der Kohlenstoff liefert mit dem Sauerstoffe noch andere Säuren, wovon wir hier nur die Oxalsäure oder Kleesäure C^2O^3 nennen, welche, mit Wasser verbunden, in festem Zustande in farblosen Krystallen erscheint.

70. **Basen** sind in chemischer Beziehung den Säuren gerade entgegengesetzt, und verbinden sich mit denselben zu Salzen; sie bestehen fast immer aus zwei Elementen, und meistens ist eines derselben ein Metall und die Basis ein Oxyd, nicht selten aber auch eine solche Verbindung der ersten Ordnung, in welcher Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Selen, Phosphor, Bor, Fluor ꝛc. den negativen Bestandtheil abgibt, und den man nach der Analogie mit der Bedeutung des Wortes Oxyd (wo das Oxygen den neg. Bestandtheil bildet), Chlorid, Bromid, Sulphurid, Selenid, Phosphorid, Borid, Fluorid ꝛc. nennt. Die schwächeren Basen stehen den Säuren ziemlich nahe, und spielen selbst manchmal die Rolle einer Säure; bei den stärkeren aber geht der Gegensatz mit den Säuren so weit, daß sie die durch Säuren veränderten Pflanzenfarben wieder herstellen, und selbst eine Aenderung in den natürlichen Farben vieler Pflanzensäfte bewirken (sie färben den Veilchensyrup grün, die Curcumetinctur braun), welche aber wieder

durch Säuren aufgehoben wird. Diejenigen, bei welchen die basische Natur so stark hervortritt, heißen Alkalien oder alkalische Erden, je nachdem sie im Wasser leicht oder nur wenig löslich sind, auch die schlechtweg Erden genannten Körper gehören hierher; selbst das Pflanzen- und Thierreich liefert Basen, wovon einige sogar Spuren einer alkalischen Natur an sich tragen.

Die Alkalien haben einen eigenthümlichen brennenden Geschmack, greifen organische Substanzen an und zerstören sie mit der Zeit, darum man sie ätzend nennt; sie sind schmelzbar und lassen sich sogar verflüchtigen; ihre Dämpfe haben einen eigenthümlichen Geruch, von dem man an den tropfbaren oder festen Massen nichts bemerkt. Sie liefern mit Oehlen im Wasser lösliche Seifen. Man kennt vier derselben: Kali, Natron, Lithion, Ammoniak; die drei ersteren sind Metalloxyde, das letztere besteht aus Wasserstoff und Stickstoff, und unterscheidet sich auch von den übrigen durch seine große Flüchtigkeit, vermöge welcher es leicht in Gasform erscheint. Die alkalischen Erden besitzen fast mit den Alkalien einerlei Eigenschaften, nur sind sie weniger löslich im Wasser, und haben ein erdartiges Aussehen, geben mit Oehlen im Wasser unlösliche Seifen, und sind einzeln für sich nicht schmelzbar. Sie sind durchaus Metalloxyde, und zwar Oxyde von Barium, Strontium, Calcium, Magnesium, und führen demnach die Namen: Baryt-, Strontian-, Kalk-, Bittererde. Den eigentlichen Erden fehlt die Aetzkraft, die Wirkung auf Pflanzenfarben und der Geschmack, auch sind sie im Wasser gar nicht oder nur in äußerst geringer Menge löslich, geben mit Oehlen keine Seifen, und sind für sich einzeln nicht schmelzbar. Sie sind ohne Ausnahme Metalloxyde, und zwar die Oxyde von Aluminium, Thorium, Beryllium, Yttrium, Zirconium, und heißen demnach Alaun- (Thon-), Thor-, Beryll-, Ytter- und Zirconerde. Viele der übrigen Metalloxyde sind entschieden Basen, ja einige derselben, wie z. B. das Zinkoxyd, Bleioxyd, stellen sich sogar in Betreff ihrer basischen Natur nahe an die alkalischen Erden, indem sie wie diese auf Pflanzenfarben wirken, und sind nur durch ihre geringe Löslichkeit im Wasser von den Alkalien getrennt, aber einige Metalloxyde müssen erst einen Theil ihres Sauerstoffs fahren lassen, andere noch mehr aufnehmen, um als Basen auftreten, d. h. sich mit Säuren zu Salzen verbinden zu können; erstere nennt man darum auch Hyperoxyde, letztere Suboxyde. Viele der organischen Salzbasen stehen den alkalischen Erden sehr nahe, wie z. B. das Morphin, das Strichnin; fast alle haben einen eigenthümlichen unangenehmen Geschmack, und, besonders die vegetabilischen, eine besonders heftige Wirkung auf den Organismus.

71. Salze sind Verbindungen der Säuren mit Basen, also Verbindungen der zweiten Ordnung. Sie sind im wasserfreien Zustande fest, und wenn sie rein sind und aus farblosen Basen und Säuren bestehen, auch farblos; die aus farbigen Basen bestehenden haben meistens die Farbe der wasserhaltigen Basis, oder eine ihr ähnliche, doch hängt die Farbe überhaupt stark von dem Wassergehalte ab. Die meisten Salze sind im Wasser löslich und haben einen eigenthümlichen Geschmack; ihre Löslichkeit im Wasser hängt von der Natur der Säure und Basis, vom Oxydationszustande der letzteren, vom Mischungsverhältnisse der zwei Bestandtheile und von der Temperatur ab; sie brauchen fast durchaus dem Gewichte nach mehr Wasser, als ihr eigenes

Gewicht beträgt. Man theilt die Salze nach der Säure in Gattungen und diese nach der Basis in Arten ein. So z. B. bilden die schwefelsauren, salpetersauren, kohlensauren Salze Gattungen, schwefelsaurer Kalk, schwefelsaures Kali, schwefelsaures Eisenoxyd Arten der Gattung schwefelsaurer Salze. Man bezeichnet sie dadurch, daß man der Basis den zu einem Adjectiv umgeformten Namen der Säure vorsetzt, wie die vorhergehenden Beispiele zeigen; viele Salze haben auch Trivialnamen, welche ihrer Kürze wegen oft auch in der Wissenschaft mit Nutzen gebraucht werden. Man sagt nämlich lieber Salpeter, als salpetersaures Kaliumoxyd, Glaubersalz statt wasserhaltiges, krystallisirtes, schwefelsaures Natriumprotoxyd. Jede Gattung der Salze hat einen eigenthümlichen Charakter und unterscheidet sich dadurch von den übrigen Gattungen. Man theilt die durch Sauerstoffsäuren gebildeten Salze in neutrale, saure und basische ein. Für ein neutrales Salz wurde früher jenes erklärt, worin die Säure und Basis sich gegenseitig neutralisirt haben (43); der gegenwärtige Stand der Wissenschaft fordert jedoch eine passendere Begriffsbestimmung. Man nennt jetzt in der Regel ein Salz neutral, worin jedem Sauerstoffatom der Basis ein Atom der Säure entspricht. Dem gemäß verhält sich z. B. in allen neutralen schwefelsauren Salzen der Sauerstoffgehalt der Säure zu jenem der Basis wie 3 : 1, in den salpetersauren Salzen wie 5 : 1 u. s. w. Ist der Sauerstoffgehalt der Säure größer, so heißt das Salz sauer, ist er geringer, so wird das Salz basisch genannt. Es enthält demnach keinen Widerspruch, wenn man sagt, die Auflösungen der neutralen Eisenoxydsalze röthen den Lackmus. Es kann sich aber nicht jede Base in diesem dreifachen Verhältnisse mit einer Säure zu Salzen verbinden, so wie überhaupt nicht jede Base mit einer Säure ein Salz gibt; dafür verbindet sich wieder manche Base zugleich mit zwei Säuren, und noch häufiger eine Säure mit zwei Basen, und es entstehen auf diese Weise die sogenannten Doppel- und dreifachen Salze, wovon der Alaun ein Beispiel gibt, wo die Schwefelsäure mit Kali und Thonerde zugleich verbunden vorkommt. Salze mit drei Basen und einer Säure kommen wohl auch, doch seltener vor.

Die älteren Chemiker nannten jeden, wenigstens in 500 Th. Wasser löslichen Körper ein Salz, und begriffen demnach auch Säuren, Alkalien rc. unter diesem Namen; später hat man nur Verbindungen von Sauerstoffsäuren mit Metalloxyden oder Ammoniak Salze genannt; allein dagegen erklärten sich Viele, weil man dadurch gerade das charakteristischeste der Salze, das Kochsalz (Natriumchlorid) von den Salzen ausschließt. Um diesem Uebelstande zu begegnen, hat Berzelius den Begriff Salz dahin modificirt und erweitert, daß er ihn nicht auf die Zusammensetzung sondern auf die Eigenschaften des Productes bezieht, und den Charakter eines Salzes bloß in den Zustand der vollkommenen Neutralisation setzt, die nächsten Bestandtheile mögen nun einfach oder zusammengesetzt seyn. Demnach wären die Chloride, Jodide, Fluoride (B. nennt sie Haloidsalze), ja selbst das Wasser ein Salz. Es scheint, obiger Begriff entgehe allen diesen Unzukömmlichkeiten, besonders wenn man annimmt, das Kochsalz sey eine Verbin-

dung von Natriumchlorid mit Wasser, und ersteres spiele die Rolle der Base, letzteres die der Säure.

72. **Indifferente Stoffe** sind alle diejenigen, welche weder Säuren noch Basen sind. Es gibt vielleicht keinen absolut indifferenten Stoff, aber in Beziehung auf gewisse Körper sind einige entschieden indifferent. Derlei findet man im Reiche der organischen und unorganischen Natur.

Ein für den Physiker höchst wichtiger indifferenter Stoff ist das **Wasser** H^2O. Im reinen Zustande ist es geschmack-, geruchlos und höchst durchsichtig; es hat in kleinen Massen keine merkliche Farbe, in größeren ist seine Farbe bläulich grün. (Davy in Zeitsch. S. 238.) Wiewohl es in allen drei Naturreichen vorkommt und einer der verbreitetsten Körper dieser Erde ist, so trifft man es doch nur in den Eishöhlungen der Gletscher rein an, wo es mit keinem anderen Körper als mit Eis in Berührung kommt, auch nicht von der darüber befindlichen Luft organische Stoffe einsaugen kann. Das gewöhnliche Wasser kann man durch Destillation reinigen. Vermög seiner vielseitigen Verwandtschaft nimmt es Körper von verschiedener Art auf, meistens aber Salze und Luftarten; durch erstere bekommt es einen eigenthümlichen Geschmack und wird zu manchem technischen Zwecke unbrauchbar; es heißt dann hartes Wasser. Viele Stoffe nimmt es mechanisch mit sich fort, setzt sie aber in der Ruhe wieder größtentheils ab. Wasser, das organische Stoffe aufgenommen hat, bekommt einen übeln Geruch und Geschmack, wird aber oft mit der Zeit wieder rein und trinkbar, weil diese Stoffe durch Fäulniß zu Grunde gehen. Aber ohne dieses abzuwarten kann man Wasser reinigen, indem man es durch abwechselnde Schichten von Kohle und Sand oder durch mehrere Sandschichten leitet. Selbst das reinste Wasser verdirbt mit der Zeit, weil es aus der Luft oder aus den Gefäßen, in denen es aufbewahrt wird, organische Stoffe aufnimmt. Durch Kohle, auch durch eine geringe Portion Kalk oder salpetersaures Silber, kann man es vor dem Verderben lange Zeit schützen. Die Verbindungen mit Wasser heißt man **Hydrate**, und in diesen spielt das Wasser oft die Rolle der Säure, oft aber auch jene der Basis. — Es ist schon früher gesagt worden, daß das Wasser aus Sauerstoff und Wasserstoff bestehe (Wasserstoffoxyd sey). Davon kann man sich auf zweifache Weise überzeugen, nämlich, indem man aus zwei Vol. Wasserstoffgas und ein Vol. Sauerstoffgas mittelst eines elektrischen Funkens Wasser erzeugt, das dem Gewichte nach jenem der beiden Gase zusammengenommen gleich kommt, oder indem man Wasserdampf durch ein glühendes eisernes Rohr leitet. Im letzteren Falle oxydirt sich das Eisen und nimmt am Gewichte zu, und es entwickelt sich Wasserstoffgas. Das Gewicht dieses Gases, vermehrt um die Gewichtszunahme des Eisens, beträgt so viel, als das verschwundene Wasser wiegt.

Der Wasserstoff geht mit dem Sauerstoffe noch eine andere, von **Thénard** entdeckte Verbindung, das Wasserstoffsuperoxyd HO ein.

Andere für den Physiker wichtige indifferente Stoffe sind gewisse Verbindungen des Kohlenstoffs und Phosphors mit Wasserstoff. Die **Kohle** geht mit **Wasserstoff** sehr viele Verbindungen ein, und liefert unter andern auch zwei Gase. Das Kohlenwasserstoffgas mit dem Minimum von Kohlenstoff CH^4 entwickelt sich in Sümpfen (daher es auch Sumpfgas heißt), in Kohlenbergwerken, kann aber künstlich erzeugt werden, wenn man Wasserdämpfe durch ein glühendes mit Kohlenpulver gefülltes eisernes Rohr leitet. Es ist nicht respirabel, riecht

sehr unangenehm, läßt sich anzünden, und brennt mit einer sehr schwachen blauen Flamme, die nicht stark leuchtet, detonirt aber, mit Sauerstoffgas gemischt und dann angezündet, sehr heftig. Das Kohlenwasserstoffgas mit dem Maximum an Kohlenstoff CH^2 wird durch Destillation organischer Substanzen, vorzüglich Oehl, Steinkohlen &c., besser aber durch Erhitzen einer Mischung von 1 Theil Alkohol mit 4 Th. starker Schwefelsäure erhalten. Es ist farblos, von widrigem Geruche, brennbar, und zwar brennt es mit sehr heller, lebhafter Flamme, verpufft, mit Sauerstoffgas erhitzt, sehr gewaltig, und liefert mit Chlor einen öhlartigen Körper, daher man es auch öhlbildendes Gas nennt. (Pogg. Ann. 4. 469; 5. 316 und 324.) — Auch der Phosphor liefert mit Wasserstoff einen gasförmigen Körper, den man erhält, wenn man Phosphor in Aetzlauge vorsichtig kocht. Anfangs erhält man ein nach faulen Fischen riechendes Gas, das sich in der Luft von selbst entzündet, in Sauerstoffgas aber mit sehr starker Lichtentwicklung und mit Explosion verbrennt. Das sich gegen Ende der Operation entwickelnde Gas ist nicht mehr in der Luft entzündlich. Es ist das eigentliche reine Phosphorwasserstoffgas, und kann durch Aufnahme fein zertheilten, mechanisch mitgerissenen Phosphors in der Luft selbstentzündlich werden. — Als ein bemerkenswerther indifferenter Stoff mag hier noch das Kohlenoxyd CO genannt werden, welches man in Gasform erhält, wenn man der kryst. Oxalsäure durch Schwefelsäure das Wasser entzieht, und das sich dabei entwickelnde Gas durch eine Kalilösung leitet. Hierbei zerfällt die Oxalsäure in Kohlensäure und in Kohlenoxydgas, wovon erstere durch die Kalilösung aufgenommen wird. Das Kohlenoxydgas brennt mit blauer Flamme. Es bildet sich auch beim Verbrennen der Kohle unter gehemmtem Luftzutritte.

73. Bis in die neueste Zeit glaubte man, verschiedene chemische Eigenschaften eines Körpers können nur bei einer verschiedenen Anzahl von Atomen derselben Elemente oder bei gleicher Anzahl von Atomen verschiedener Elemente vorhanden seyn. Gegenwärtig kennt man aber mehrere in Bezug auf ihr chemisches Verhalten sehr verschiedene Körper, die deßungeachtet ein gleiches Atomengewicht besitzen, und aus einer gleichen Anzahl Atome derselben Elemente bestehen. Man nennt sie isomerische Stoffe. Von dieser Art sind Wein- und Traubensäure $C^4H^4O^5$, die eine ganz gleiche chemische Zusammensetzung haben und doch verschiedene Salze bilden, Aepfelsäure und Citronensäure $C^4H^4O^4$, Knallsäure und Cyansäure $Cy^2O = N^2C^2O$ &c. Eben so sollte man glauben, daß dieselben Elemente stets dasselbe Product liefern müßten, ihre absolute Anzahl mag welche immer seyn, wenn nur ihr Verhältniß nicht geändert wird. Aber auch hierüber hat uns die Erfahrung eines anderen belehrt. Sowohl im Weinöhl (Aetherin) als im öhlbildenden Gase, die beide aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, ist die Anzahl der Wasserstoffatome doppelt so groß als jene der Kohlenstoffatome; nur sind in ersterem 4 At. Kohlenstoff mit 8 At. Wasserstoff, in letzterem 1 At. Kohlenstoff mit 2 At. Wasserstoff verbunden, die Eigenschaften des Weinöhles sind aber von jenen des öhlbildenden Gases weit verschieden. Berzelius nennt solche Körper polymerische. Man kann diese Verschiedenheiten der Körper bei gleicher Zusammensetzung nur dadurch unserer Vorstellungsweise näher bringen, daß man annimmt, es können sich dieselben

Atome mehr oder weniger innig mit einander verbinden. Damit hängt auch jene chemische Umstaltung der Körper zusammen, die sie oft erleiden, ohne daß etwas hinzu- oder wegkommt, wie dieses mit der Cyanursäure $\bar{C}y = N^3 C^3 H^3 O^3$ der Fall ist, welche auf solche Weise in Cyansäure und Wasser zerfällt, so daß sich aus 2 At. Cyanursäure 3 At. wasserhältige Cyansäure bilden. Derlei Körper nennt Berzelius metamerische.

74. Die chemische Zusammensetzung der organischen Körper ist von jener der unorganischen wesentlich verschieden, und bietet überhaupt keine so große Mannigfaltigkeit der Bestandtheile dar, wie diese, indem die vegetabilischen Körper im Wesentlichen höchstens nur Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff, in der Regel sogar nur die drei ersteren Grundstoffe, thierische aber fast immer alle vier, aber nicht mehr enthalten. Auch die Art der Verbindung dieser Stoffe unter sich hat bei der organischen Natur etwas Eigenthümliches. Während in der unorganischen Welt immer nur zwei einfache Stoffe unter sich, und zwei zusammengesetzte derselben Art wieder unter sich verbunden vorkommen (43), trifft man in der organischen auch drei Grundstoffe mit einander unmittelbar verbunden an. Chemiker von Gewicht sehen die organischen Stoffe gleich den unorganischen als salzartige Verbindungen von Kohlenstoffverbindungen mit den Elementen des Wassers und der Luft an, stimmen aber hierbei, da ein solcher zusammengesetzter Stoff oft auf mehrere Arten in andere zusammengesetzte zerfällt werden kann, in ihren Ansichten nicht stets überein. So läßt sich der Aether $C^4 H^{10} O$ als eine Verbindung des Aetherins $C^4 H^8$ mit Wasser $H^2 O$, der Alkohol $C^4 H^{12} O^2$ als eine Verbindung von Aether mit Wasser betrachten; man kann aber auch nach Liebig's Vorgang (Pogg. Ann. 31. 321) ein eigenes Radikal Aethyl $C^4 H^{10}$ annehmen, und den Aether für ein Oxyd des Aethyls, den Alkohol für ein Hydrat des Aethyloxyds erklären. Um derlei Ansichten durchzuführen, wird in einigen Fällen vorausgesetzt, es habe sich bei der Verbindung zusammengesetzter Atome unter sich oder mit einfachen, ein Theil ausgeschieden. So z. B. kann der Harnstoff, der aus 2 At. Sauerstoff, 2 At. Kohlenstoff, 8 At. Wasserstoff und 4 At. Stickstoff besteht, als Verbindung von 1 At. Kohlensäure und 2 At. Ammoniak angesehen werden, wenn man annimmt, es habe sich bei der Verbindung 1 At. Wasser ausgeschieden. (Mitscherlich in Pogg. Ann. 31. 631.) Ein anderer wesentlicher Charakter der org. Verbindungen ist das häufige Vorkommen isomerischer Stoffe. Von dieser Art ist eine große Menge ätherischer Oehle (Blanchet und Sell in Pogg. Ann. 29. 133), Harze, Säuren ꝛc. Dieses beweiset, daß es mehrere Grade der Innigkeit in der Verbindung der organischen Atome gibt. Organische Stoffe haben auch das Eigenthümliche, daß sie schon durch den Einfluß der Luft und des Wassers eine Zersetzung erleiden.

75. Organische Körper werden nur durch die Lebenskraft vor der zerstörenden Wirkung, welche ihre chemischen Elemente auf einander auszuüben suchen, bewahrt. Sobald daher die Lebenskraft entwichen,

d. h. der Körper dem Reiche des Todten anheim gefallen ist, beginnt die selbstständige Wirksamkeit der Verwandtschaft seiner Elemente, und der Körper erleidet, wenn nur die dazu nöthigen äußern Bedingungen vorhanden sind, eine förmliche Zersetzung, die man Gährung nennt. Dabei werden neue Producte gebildet, nach deren Verschiedenheit man auch verschiedene Arten der Gährung unterscheidet, nämlich die weinige oder geistige, die saure und die faule Gährung.

76. Der weinigen oder geistigen Gährung unterliegen unter günstigen Umständen nur der Zucker und zuckerhältige Substanzen. Diese Bedingungen sind: Vorhandenseyn eines stickstoffhältigen Körpers (Fermentes), welcher durch seine bloße Gegenwart die Gährung einzuleiten scheint (40), tropfbarer Zustand, Ruhe, eine Temperatur von 20—30° C., Zutritt der Luft, wenigstens eine kurze Zeit hindurch. Erleichtert wird diese Gährung noch durch eine hinreichend große Masse des zuckerhältigen Stoffes. Um den Hergang der geistigen Gährung in ihrer einfachsten Form wahrzunehmen, löse man 5 Gewichtstheile Zucker in 20 Th. Wasser auf, setze der Auflösung 1 Th. Bierhefe zu, und stelle sie an einen hinreichend warmen, ruhigen Ort. Da tritt bald eine lebhafte Bewegung der Flüssigkeit ein, sie wird trübe, ihre Temperatur steigt, und es entwickeln sich Luftblasen, die sich als Kohlensäuregas charakterisiren. Nach einiger Zeit hört die innere Bewegung der Flüssigkeit auf, die Masse klärt sich, nimmt die Temperatur der Umgebnng an, und erscheint nun nicht mehr zuckerhältig sondern geistig schmeckend, berauschend, und man kann aus ihr durch Destillation Alkohol, eine leicht entzündliche, flüchtige, scharf schmeckende, sich mit Wasser leicht mischende, Harze und Oehle auflösende Flüssigkeit abscheiden. Der Gehalt an Wasser der also umgewandelten Flüssigkeit ist um ein Geringes kleiner geworden, vom Fermente ist nur ein unmerklich kleiner Theil verloren gegangen, so daß man annehmen kann, der Zucker sey nach Aufnahme von etwas Wasser in Kohlensäure und Alkohol zerlegt worden. In der That lehrt die chemische Analyse, daß die Vereinigung von 1 At. krystallisirten Rohrzucker $C^{12}H^{22}O^{11}$ mit 1 At. Wasser der Summe von 2 At. Alkohol und 4 At. Kohlensäure entspricht, denn es ist $C^{12}H^{24}O^{12} = 2\,C^4H^{12}O^2 + 4\,CO^2$. Die Gährung des Traubenmostes (die Formel für den Traubenzucker ist gleichfalls $C^{12}H^{24}O^{12}$; als Ferment dient der im Traubensafte enthaltene Pflanzenleim), des Obstmostes, des Malz- und Honigdecoctes folgt denselben Gesetzen, und es kommen dadurch jene geistigen Getränke zum Vorschein, die man im allgemeinen Wein, Cider, Bier, Meth nennt, und welche ihre berauschende Eigenschaft dem bei der Gährung gebildeten Alkohol verdanken.

Aus dem hier Gesagten wird man sich leicht erklären, was bei der Weinbereitung überhaupt vor sich geht, warum saure Trauben schlechten oder nur schwachen Wein geben; warum Bier um so stärker wird, je mehr Malz man zu dessen Bereitung anwendet; warum Aepfel, Birnen zur Bereitung des Obstweines, Kartoffeln, Kirschen, Syrupe zur Erzeugung des Alkohols oder Branntweins verwendet werden können. Stoffe, die viel Zucker enthalten, verlieren ihn nicht ganz bei der er-

sten heftigen Gährung, und geben daher ein zugleich berauschendes und süßes Getränke, wie die sogenannten Ausbrüche, den Meth rc. Trauben unter Quecksilber gepreßt und ganz von der Luft abgesperrt, geben keinen Wein. Uebrigens dauert die Weingährung, selbst wenn das Kohlensäuregas nicht entweichen kann, sondern sich über dem gährendem Moste verdichten muß, noch eine geraume Zeit fort; daher Weine mit der Zeit immer stärker werden, aber wenn sie süß sind, nach und nach diesen Geschmack verlieren, und auch, wenn sie freie Säure enthalten, dieselbe absetzen und milder werden. Wird guter Wein nach der ersten Gährung in ein Gefäß luftdicht eingeschlossen, so nimmt er die bei der ferneren Gährung entwickelte kohlensaure Luft auf, und gibt sie erst nach dem Oeffnen des Gefäßes allmählig wieder von sich, wie dieses mit dem moussirenden Champagner, Bouteillenbier rc. der Fall ist.

77. Enthält der Alkohol nebst Wasser noch ein Ferment, so geht er unter dem Einflusse der atm. Luft und bei einer Temperatur von 25—30° C. in eine neue Gährung über, welche man die saure oder Essiggährung nennt. Es trübt sich nämlich die Masse von Neuem, absorbirt Sauerstoff aus der Atmosphäre, und bedeckt sich dabei an der Oberfläche mit einer kahmigen Haut. Ist die Flüssigkeit wieder klar geworden, so findet man sie nicht mehr geistig, sondern sauer schmeckend, und man erhält daraus durch Destillation Essigsäure. Diese ist ohne Zweifel durch Oxydation des Alkohols entstanden, wenn gleich der eigentliche Vorgang hierbei noch nicht hinreichend in das Licht gestellt ist (Pogg. Ann. 37. 61). Die Zusammensetzung der wasserhältigen Essigsäure ist $C^4 H^8 O^4$; man kann daher annehmen, das Aetherin des Alkohols absorbire 4 At. Sauerstoff aus der Luft, während die mit ersterem verbundenen 2 At. Wasser ausgeschieden werden.

Unser gewöhnlicher Essig ist nicht reine Essigsäure, sondern enthält nur mehr oder weniger von derselben; nur guter Wein gibt guten Essig, aber durch Zusätze kann auch aus mittelmäßigem Weine guter Essig gewonnen werden. (Schweigg. J. 65. 279. Pogg. Ann. 24. 691.) Statt ein Ferment anzuwenden kann man den in Essig umzustaltenden Alkohol mit feinzertheiltem Platin in Contact bringen, wodurch die Rolle, welche ersteres bei dem auf gewöhnliche Weise eingeleiteten Gährungsprozesse spielt, ersichtlich gemacht wird.

78. Organische Körper, welche bereits die saure Gährung überstanden haben, und solche, die sie aus Mangel an Zuckergehalt oder Alkohol nicht eingehen können, unterliegen unter günstigen Umständen, d. h. bei einer Temperatur zwischen 0 und 40° C., und bei hinreichender Feuchtigkeit, der faulen Gährung. Sie bekommen einen üblen Geruch, werden weich und breiartig, geben Gase von sich, und zerfallen endlich in eine erdartige Masse. Auf diesem Wege kehrt das Organische ins Reich des Unorganischen zurück, wird von Pflanzen als Nahrung aufgenommen, und in deren Substanz verwandelt, damit es den Kreislauf der Natur von Neuem beginne. Indeß lassen sich organische Körper, selbst nachdem das Leben entwichen ist, bei zweckmäßiger Behandlung unversehrt erhalten, wenn man die Bedingungen der Gährung entfernt hält, und fäulnißwidrige Mittel anwendet. Dergleichen sind: Ammoniak, Eisenvitriol, Essigsäure, Wein-

geist, Harze, Kohlenstoff, Arsenik ꝛc. Hieraus begreift man die Bereitung des Bundmostes, des Wermuthweines, warum sich Holz in trockenem Zustande an einem luftigen Orte, Leichen in großer Kälte, in heißem Sande oder im Kalkboden so lange unversehrt erhalten lassen; ferner den Nutzen des Räucherns des Fleisches, warum man hölzerne Pflöcke verkohlt, anatomische Präparate im Weingeiste aufbewahrt, Thiere in Naturaliensammlungen mit Arseniklösung von innen wäscht, Leichen einbalsamirt (Mumien) ꝛc.

Mehr hierüber muß man in chemischen Werken suchen, unter denen wir besonders nennen zu müssen glauben: Scholz, Lehrbuch der Chemie. Wien, 2. Auflage, 1829—1831. Grundzüge der allgemeinen und medicinischen Chemie nach den Angaben des Freiherrn J. v. Jacquin, redigirt von Dr. Jg. Gruber. Wien 1835. Berzelius Lehrbuch der Chemie, aus dem Schwedischen übersetzt von F. Wöhler. Dresden 1825—1838. C. G. Gmelin's Einleitung in die Chemie. Tübingen 1835—1837. Mitscherlich's Lehrbuch der Chemie. 3. Aufl. Berlin 1837. R. v. Specz Grundriß der technischen Chemie. Wien 1837. Runge Einleitung in die technische Chemie für Jedermann. Berlin 1836. Desselben technische Chemie der nützlichsten Metalle für Jedermann. Berlin 1838.

Zweiter Abschnitt.

Gleichgewicht der Kräfte (Statik).

79. Bei der Erklärung des inneren Verlaufes der Erscheinungen der Körperwelt werden wir zuletzt zur Annahme von Kräften geführt, deren allgemeiner Charakter darin besteht, daß sie eine Bewegung wirklich hervorbringen, oder doch hervorzubringen suchen (10). Jede solche Kraft hat zwar eine eigene Wirkungsweise, doch gibt es allgemeine Gesetze, an welche alle Kräfte gebunden sind, und die man kennen muß, wenn man es in der Kenntniß der Erscheinungen zur Klarheit bringen will. Der Erfolg der Wirksamkeit einer Kraft, die nicht durch eine andere Kraft oder einen Widerstand, der dieselbe Wirkung zu Folge hat, wie eine Gegenkraft, aufgehoben wird, ist Bewegung; ist ihre Wirkung gehemmt, so herrscht Gleichgewicht. Die Lehre vom Gleichgewichte heißt Statik, die von der Bewegung Dynamik; beide zusammen machen die Mechanik aus.

Erstes Kapitel.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

80. Bei jeder Kraft kommt in Betrachtung: 1) ihr Angriffspunkt, d. i. der Punkt, auf den sie unmittelbar wirkt; 2) ihre Richtung, d. i. die gerade Linie, nach der die Kraft den Angriffspunkt fortzutreiben sucht; 3) ihre Größe. Der Angriffspunkt, wie auch die Richtung einer Kraft, wird durch dieselben Hilfsmittel bestimmt, welche die Geometrie zur Angabe der Lage eines Punktes und einer geraden Linie im Raume darbietet. Wie sich die Kräfte durch Zahlen ausdrücken und numerisch mit einander vergleichen lassen, ist aus 20 bekannt. Daß man dieselben demnach auch durch Linien ausdrücken könne, ist für sich klar. In diesem Falle können durch diese Linien zugleich die Richtungen der Kräfte angedeutet werden. Entgegengesetzte Richtungen werden da, wo man die Kräfte durch Zahlen angibt, durch die Zeichen + und — unterschieden. Kräfte, die nach einerlei Gesetz wirken, heißen gleichartige, jene, deren Wirkungsgesetze verschieden sind, ungleichartige.

81. Wenn mehrere gleichartige Kräfte, die nicht im Gleichgewichte sind, auf einen Punkt wirken, so ist immer eine einzige denkbar,

welche, der Wirkung nach, allen zusammengenommen gleich ist, da der Punkt seine Bewegung doch nur nach Einer Richtung, also gerade so, als ob er von einer einzigen Kraft getrieben würde, zu beginnen vermag. Diese Kraft nennt man die Resultirende, jene Kräfte die Componenten. Eben so kann man sich statt Einer Kraft immer mehrere denken, deren Wirkung der einzigen gleich kommt. Die Resultirende mehrerer Kräfte finden, heißt letztere zusammensetzen; statt Einer Kraft mehrere, ihr gleichgeltende Kräfte setzen, heißt sie zerlegen.

82. Wenn mehrere Kräfte auf einen Punkt nach derselben Richtung wirken, so ist die Resultirende gleich der Summe aller einzelnen Kräfte, und ihre Richtung stimmt mit jener der einzelnen Kräfte überein. Wirken zwei Kräfte auf einen Punkt nach entgegengesetzten Richtungen, so ist die Resultirende gleich ihrem Unterschiede, und ihre Richtung stimmt mit jener der größeren Kraft überein. Diese Sätze ergeben sich schon aus dem Begriffe von der Größe einer Kraft.

83. Wenn die Richtungen zweier Kräfte P und Q einen Winkel einschließen, so können sie nicht im Gleichgewichte stehen. Denn es sey A (Fig. 6) der Angriffspunkt, AB die Richtung der Kraft P, AC die der Kraft Q, und man setze, sie seyen im Gleichgewichte. Verlängert man BA nach D, und denkt sich nach der Richtung AD eine der P entgegengesetzte Kraft R angebracht; so ist diese Kraft die Resultirende von allen drei Kräften, ihre Größen mögen wie immer beschaffen seyn, also auch, wenn $R = P$ ist. In letzterem Falle kann man aber, weil P und R einander aufheben, auch Q als die Resultirende von P, Q und R betrachten. Es müßte daher von den zwei Kräften Q und R die eine genau das leisten, was die andere leistet, welches absurd ist. Es halten daher die Kräfte P, Q einander nicht das Gleichgewicht, sondern sie haben eine Resultirende. Die Richtung derselben fällt offenbar in die Ebene des Winkels BAC zwischen AB und AC.

84. Zwei gleiche Kräfte, deren Richtungen einen Winkel BAC (Fig. 7) einschließen, haben eine Resultirende, deren Richtung AD den Winkel BAC halbirt; denn es ist kein Grund vorhanden, warum letztere Richtung näher an der Richtung der einen als der anderen Kraft liegen sollte.

85. Der Angriffspunkt A einer Kraft P, deren Richtung AE ist (Fig. 8), kann ohne Aenderung der Wirkung in jeden anderen Punkt D versetzt werden, der in der wie immer verlängerten Geraden AE liegt, und mit A unveränderlich verbunden ist. Denn denkt man sich in D zwei gleiche und entgegengesetzte Kräfte P′ und P″, wovon erstere die Richtung DA, letztere die Richtung DE hat, so bleibt die Wirkung von P dieselbe, wie die aller drei Kräfte. Ist überdieß noch $P = P' = P''$, so heben sich P und P′ auf, es bleibt P″ übrig, und die Wirkung ist wie im Anfange. — Wenn man den Angriffspunkt irgend wohin, z. B. nach C, außer der Richtung AE versetzte, so würde ein ganz anderer Erfolg Statt finden; denn brächte P in C dieselbe Wirkung hervor, wie in D oder A, so müßte Gleichgewicht herrschen, wenn die Kraft P in A oder in D nach einer, und in C nach der entgegen-

gesetzten Richtung wirkte. In diesem Falle würde aber eine drehende Bewegung erfolgen. Man darf daher den Angriffspunkt einer Kraft nie aus ihrer Richtung versetzen, und kann von einem Punkte, von dem man weiß, daß man den Angriffspunkt einer Kraft dahin versetzen darf, mit Grund behaupten, er liege in der Richtung der Kraft.

86. Die Richtung der Resultirenden von zwei Kräften P und Q, die auf den Punkt A (Fig. 9) wirken, und deren Richtungen Ax und Ay sind, ist durch die Diagonale AB des Parallelogramms ACBD gegeben, dessen Seiten AC und AD sich verhalten wie P zu Q, und welches deßhalb Kräftenparallelogramm heißt. Der Beweis dieses Satzes, den zuerst Duchayla auf ähnliche Art vortrug, wie hier geschieht, besteht aus drei Theilen, deren erster sich auf gleiche, der zweite auf ungleiche aber commensurable, der dritte auf incommensurable Kräfte bezieht.

I. Sind Ax und Ay (Fig. 9) die Richtungen der Kräfte P und Q, und ist $P = Q$, ferner Az die Richtungen ihrer Resultirenden; so hat man $xAz = yAz$ (84). Ist nun B ein Punkt in Az, und man zieht BC mit Ay, BD mit Ax parallel; so ist ACBD ein Parallelogramm, in welchem $AC = AD$ ist, welche Seiten sich demnach verhalten wie die Kräfte P und Q. Der Satz ist also für gleiche Kräfte wahr.

II. Sind die Kräfte P und Q, wovon die erste die Richtung Ax (Fig. 10), die andere die Richtung Ay hat, ungleich, so setze man $P = p + p'$, und denke sich statt P in A zwei Kräfte p und p′ nach der Richtung Ax angebracht. Ist Az die Richtung der Resultirenden von p und Q; so kann man in ihr was immer für einen Punkt B annehmen, und dahin den Angriffspunkt der Resultirenden versetzen. Weil aber diese Resultirende den Kräften p und Q an Wirkung gleich kommt, so kann man erstere, in sofern man sie auf B unmittelbar einwirkend denkt, in p und Q zerlegen. Zieht man daher Bx′ mit Ax und By′ mit Ay parallel, so ist es einerlei, ob p und Q nach den Richtungen Ax und Ay auf A, oder nach den Richtungen Bx′ und By′ auf B wirken. Man verlängere By′ bis C, versetze den Angriffspunkt der Kraft Q nach C, verlege eben dahin den Angriffspunkt der Kraft p′; so ist C der Angriffspunkt der zwei Kräfte p′ und Q. Ist wieder Cz′ die Richtung ihrer Resultirenden, so kann man sich ihren Angriffspunkt dorthin versetzt denken, wo sie mit Bx′ zusammentrifft, und den Durchschnittspunkt D als Angriffspunkt der Kräfte p′ und Q betrachten. Weil sich aber auch der Angriffspunkt der Kraft p nach D versetzen läßt, so ist D der gemeinschaftliche Angriffspunkt der Kräfte p, p′ und Q, oder der Kräfte P und Q, oder ihrer Resultirenden. Es muß daher D in der Richtung der Resultirenden von P und Q liegen (85), und diese Richtung selbst AD seyn. Zieht man DE parallel mit Ay und verlängert Bx′ bis F, so ist AD die Diagonale des Parallelogramms AEDF. Es ist nun noch zu beweisen, daß wenigstens, in sofern die Kräfte P und Q commensurabel sind, AEDF das Kräftenparallelogramm sey, oder daß sich die Seiten AE, AF wie P zu Q ver-

halten. Denn nehmen wir an, man habe bereits erkannt, daß sich verhalten

$$AC : AF = p : Q$$
$$\text{und} \quad CE : CB = p' : Q,$$

oder mit andern Worten, daß der zu beweisende Satz für die Kräfte p und Q, und eben so für die Kräfte p' und Q gelte, so gilt er auch, weil aus obigen zwei Proportionen, wegen

$$AC + CE = AE, \; AF = CB, \; p + p' = P$$

die Proportion

$$AE : AF = P : Q$$

folgt, auch für die Kräfte $p + p' = P$ und Q.

Da nun nach I. der erwähnte Satz gilt, wenn man $Q = p$ und $p' = p$ setzt, so gilt er auch für die Kräfte $P = 2p$ und $Q = p$. Setzt man jetzt, durch das so eben Bewiesene dazu berechtiget, $p' = 2p$, während $Q = p$ bleibt, so folgt die Gültigkeit des Satzes sogleich für die Kräfte $P = 3p$ und $Q = p$. Auf diesem Wege stufenweise fortfahrend, wird man die Richtigkeit des Satzes auch für den Fall erweisen, wenn $P = np$, $Q = p$ ist, wobei n irgend eine ganze Zahl vorstellt. Nimmt man jetzt $Q = np$, $p' = p$, so folgt die Richtigkeit des Satzes für die Kräfte $P = 2p$ und $Q = np$; nun kann man $p' = 2p$, $Q = np$ setzen, und mit Hülfe der eben angedeuteten Schlußform die Gültigkeit des Satzes auf den Fall $P = 3p$, $Q = np$ ausdehnen u. s. w., und so endlich die Gültigkeit desselben auch für $P = mp$, $Q = np$ rechtfertigen, wobei m ebenfalls eine ganze Zahl ist. Es gilt also der Satz, wenn $P : Q = m : n$ ist, d. h. wenn sich die Kräfte P, Q wie ganze Zahlen verhalten, nämlich commensurabel sind.

III. Es sey A (Fig. 11) der Angriffspunkt der zwei incommensurablen Kräfte P und Q, deren Richtungen und Größen durch AB und AC vorgestellt werden, und man nehme an, daß die Richtung ihrer Resultirenden eine andere sey, als die der Diagonale AD des Parallelogramms ABDC, z. B. daß diese Resultirende die Richtung AE habe. Man ziehe durch E die mit CD Parallele EF, und denke sich AB in gleiche Theile getheilt, deren jeder kleiner ist als FC, so daß, wenn sie von A aus auf AC übertragen werden, ein Theilungspunkt zwischen F und C nach G fällt. Denkt man sich nun mit P zugleich statt der Kraft Q nach der Richtung AC eine Kraft auf A wirkend, deren Größe durch AG vorgestellt werde, so muß, da AG und AB commensurable Kräfte sind, ihre Resultirende die Richtung der Diagonale AH haben, wenn GH mit AB parallel gezogen worden ist. Es kann aber wegen $AC = AG + GC$ die Resultirende der Kräfte AB, AC auch als die Kraft betrachtet werden, welche aus dem Zusammenwirken der nach AH gerichteten Resultirenden der Kräfte AB, AG mit einer nach AC gerichteten Kraft, deren Größe GC ist, hervorgeht; die Richtung dieser Resultirenden muß demnach zwischen AH und AC fallen, und kann also nicht AE seyn. Da sich auf gleiche Weise dasselbe für jeden anderen Punkt außer D zeigen läßt; so kann die Resultirende keine andere Richtung haben, als die der Diagonale AD von ABDC.

87. Die Resultirende der Kräfte P und Q wird auch der Größe nach durch die Länge der Diagonale des Parallelogramms der Kräfte vorgestellt. Es seyen AB und AC (Fig. 12) die Kräfte P und Q, AD die Richtung ihrer Resultirenden, R ihre Größe, AE die Richtung und Größe einer Kraft R', welche der Kraft R gleich und entgegengesetzt ist; so ist offenbar zwischen den Kräften P, Q, R' Gleichgewicht. Construirt man mit AE und AC das Parallelogramm AEFC; so ist AF die Richtung der Resultirenden S von AE und AC, und es muß auch zwischen P und S Gleichgewicht herrschen, d. i. es muß FAB eine gerade Linie seyn. Man hat daher EAF = BAD, ferner ist FEA = ADB, EF = BD, mithin auch AE = AD; aber es ist AE = R, mithin auch AD = R.

88. Nach der früher gelehrten Methode kann man auch von mehreren Kräften, die einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt haben und nach verschiedenen Richtungen wirken, die Resultirende finden. Wären z. B. P, P', P'' die Kräfte (Fig. 13), A ihr Angriffspunkt, AB, AC, AD ihre Richtungen und Größen; so ziehe man BF der AC parallel und gleich, eben so FG der AD parallel und gleich, und es ist AG die Resultirende aller gegebenen Kräfte.

89. Durch ein umgekehrtes Verfahren kann man jede Kraft in eine beliebige Anzahl von Kräften zerlegen, die ihr zusammen an Wirkung gleich kommen. Um nämlich eine Kraft zunächst in zwei Kräfte zu zerlegen, darf man sie nur als Diagonale eines Parallelogramms betrachten. Die in dem Angriffspunkte derselben zusammenstoßenden Seiten des Parallelogramms geben die Richtungen, und Größen der gesuchten Kräfte an. Hiebei sind die Richtungen, oder die Größen beider Kräfte, oder die Richtung der einen und die Größe der andern, innerhalb gewisser, durch die Möglichkeit das Parallelogramm zu verzeichnen bedingter Grenzen willkürlich, und können daher nach Belieben gewählt werden. Indem man mit jeder der gefundenen Kräfte wieder so verfährt, zerlegt man erstere in jede beliebige Anzahl von Kräften.

90. Sollen Kräfte, die einerlei Angriffspunkt haben, mit einander im Gleichgewichte stehen; so muß stets eine von ihnen der Resultirenden der übrigen gleich und entgegengesetzt seyn. Zwei solche Kräfte stehen daher nur dann mit einander im Gleichgewichte, wenn eine der anderen gleich und gerade entgegengesetzt ist; bei drei solchen Kräften muß die eine der Resultirenden der zwei anderen gleich und gerade entgegengesetzt seyn.

91. Der Satz 86 läßt sich auch auf die Zusammensetzung von Kräften anwenden, die in derselben Ebene wirken und verschiedene Angriffspunkte haben, wenn diese nur unveränderlich mit einander verbunden sind. Es seyen A und B (Fig. 14) die Angriffspunkte der Kräfte P und Q, welche der Größe und Richtung nach durch die divergirenden Linien AC und BD vorgestellt werden. Man verlängere diese Linien, bis sie sich in E schneiden, versetze den Angriffspunkt jeder der Kräfte dahin, mache EC' = AC, ED' = BD, construire das Parallelogramm EC'FD'; so ist EF die Resultirende von P und Q. Zieht

man von einem beliebigen Punkte G der Richtung der EF, die auf EC und ED Senkrechten GH und GK, und verbindet man H mit K, so läßt sich um das Viereck EHGK wegen der rechten Winkel bei H und K ein Kreis beschreiben, wovon HG eine Sehne wird, deßhalb sind die Winkel HEG und HKG gleich; ferner sind die Winkel ECF, HGK gleich, da die Schenkel des einen auf jenen des andern senkrecht stehen, und beide Winkel von einerlei Art sind; es sind daher die Dreiecke ECF, HGK ähnlich. Hieraus folgt die Proportion
$EC' : C'F = GK : GH$ oder wegen $C'F = ED'$, $P : Q = GK : GH$.
Man kann daher sagen: Die Kräfte P und Q verhalten sich verkehrt wie die Senkrechten, welche von irgend einem Punkte der Resultirenden auf die Richtungen dieser Kräfte gezogen werden. Nennt man die durch die Diagonale EF vorgestellte Resultirende R, so gibt die Aehnlichkeit der erwähnten Dreiecke $P : Q : R = GK : GH : HK$.

In dem Dreiecke EC'F ist $EC' : C'F : EF = \sin. C'FE : \sin. C'EF : \sin. EC'F$, daher wegen $C'FE = BEG$ und $EC'F = 180° - AEB$,
$$P : Q : R = \sin. BEG : \sin. AEG : \sin. AEB.$$
Es ist also jede der Kräfte P, Q, R dem Sinus des Winkels, den die Richtungen der zwei anderen bilden, proportionirt.

92. Sind P und Q zwei nach parallelen Richtungen und nach derselben Gegend hin wirkende Kräfte, A und B (Fig. 15) ihre unveränderlich verbundenen Angriffspunkte, die in der Geraden AB liegen, AC und BD ihre Richtungen und Größen; so kann man ohne Aenderung des Effectes in A und B zwei andere gleiche und entgegengesetzte Kräfte, deren Richtungen in die Linie AB fallen, anbringen. Sind AE und BF diese Kräfte, so setze man AE mit AC, BF mit BD zusammen, und finde ihre Resultirenden AG und BH, indem man die Parallelogramme AEGC und BFHD construirt. Verlängert man die Richtungen letzterer, bis sie sich in K schneiden; so kann K, in sofern dieser Punkt mit A und B unveränderlich verbunden gedacht wird, den gemeinschaftlichen Angriffspunkt der Kräfte AC, AE und BD, BF vorstellen. Nimmt man nämlich $KL = AG$, $KM = BH$, und zieht Kx parallel mit AC, yKz parallel mit AB; so kann man KL in die Kräfte $KO = AE$ und $KN = AC$ zerlegen. Aehnliches ist mit KM gestattet, und man bekommt $KS = BF$ und $KR = BD$. Da aber KO und KS sich als gleiche und entgegengesetzte Kräfte aufheben, so bleibt als Resultirende $KN + KR = P + Q$. Sie ist daher gleich der Summe der gegebenen Kräfte, und wirkt mit ihnen parallel. Zur Bestimmung ihrer Richtung hat man wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AEG, ATK, dann der Dreiecke BFH, BTK
$$AE : EG = AT : TK,$$
$$BF : FH = BT : TK, \text{ mithin}$$
$$EG : FH = BT : AT, \text{ d. i. } P : Q = BT : AT.$$
Die Richtung der Resultirenden theilt daher die gegenseitige Entfernung der Angriffspunkte in zwei Theile, die mit den Kräften im verkehrten Verhältnisse stehen. Da die Bestimmung des Punktes T unabhängig von dem Winkel erfolgte, den P und Q mit AB machen; so

muß dieser Punkt derselbe bleiben, wenn sich die Richtungen von P und Q um ihre Angriffspunkte drehen. Deßhalb heißt der Punkt T der **Mittelpunkt** der parallelen Kräfte. — Es ist für sich klar, daß man durch ein dem vorigen ähnliches Verfahren von mehreren parallelen Kräften die Resultirende finden, ja auch jede gegebene Kraft in jede beliebige Anzahl paralleler Kräfte auflösen könne, deren Summe der gegebenen Kraft gleich ist.

93. Wirken die Kräfte P und Q einander parallel, aber nach entgegengesetzten Richtungen, so ist ihre **Resultirende gleich ihrem Unterschiede**, wirkt mit der größeren Kraft nach einerlei Gegend, und ihre Richtung schneidet die Verbindungslinie der Angriffspunkte der Kräfte nach demselben Verhältniß, wie in 92 gesagt wurde. Man kann diesen Satz durch die dort angewandte Construction beweisen, oder auch ihn, wie folgt, auf den früheren zurückführen. Es seyen (Fig. 16) AB und CD die Richtungen der Kräfte P und Q, A und C ihre Angriffspunkte, und es werde $P < Q$ vorausgesetzt. Man kann sich Q in zwei Kräfte zerlegt denken, wovon eine P′, deren Richtung Ah sey, der P gleich und entgegengesetzt ist, während die andere, die R heißen mag, und deren Größe und Angriffspunkt noch unbekannt ist, in E angebracht seyn und längs EF mit Q parallel wirke. Da sich P und P′ aufheben, so bleibt nur $EF = R$ übrig; es ist daher R die Resultirende der Kräfte P, Q, und man hat $Q = P + R$ oder $R = Q - P$. Da $P' : R = CE : AC$ (92), und daher $P : P + R = CE : CE + AC$, mithin $P : Q = CE : AE$ ist; so gilt auch hier das obige Gesetz der Lage des Angriffspunktes der Resultirenden. Auch da ist E unabhängig von der Neigung der Kräfte gegen AC, mithin wieder ein **Mittelpunkt** der Kräfte. — Wenn $P = Q$ ist, kann die Resultirende weder die Richtung der einen, noch die Richtung der anderen Kraft haben, weil zu beiden kein Grund vorhanden ist. In diesem Falle **kann es daher keine Resultirende geben**. Dieses folgt auch aus Obigem; denn es wird

$$P : 0 = CE : AC, \text{ d. i. } CE = \frac{P \cdot AC}{0} = \infty.$$

94. Das Product aus einer Kraft in die Senkrechte, die aus einem gegebenen Punkte auf die Richtung dieser Kraft gezogen worden, heißt ihr **Moment** in Beziehung auf diesen Punkt. Liegt der Punkt, worauf das Moment bezogen wird, in der Richtung der Resultirenden zweier Kräfte, so sind ihre Momente einander gleich. Denn für Kräfte, deren Richtungen nicht parallel sind, wie Fig. 14, sie mögen nun einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt haben oder nicht, ist in Bezug auf jeden Punkt G der Richtung der Resultirenden immer

$$P \cdot GH = Q \cdot GK \quad (91).$$

Sind die Kräfte parallel, wie in 92 angenommen wurde, so gilt für sie dasselbe Gesetz; denn es seyen P und Q zwei solche Kräfte, A und B (Fig. 17) ihre Angriffspunkte, AC und BD ihre Richtungen, EF die Richtung der Resultirenden, welche AB in G schneidet. Ist nun H ein Punkt, worauf man die Momente der Kräfte bezieht, so

ziehe man HI, HK auf AC und BD senkrecht, ferner LM durch H mit AB parallel, und man hat:

$$P : Q = BG : AG = HM : HL,$$

ferner wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke LHI, KHM,

$$HM : HL = HK : HI, \text{ mithin}$$

$$P : Q = HK : HI \text{ oder } P . HI = Q . HK.$$

95. Man kann diesen Satz auch umkehren und zeigen, daß ein innerhalb des Winkels der Richtungen zweier Kräfte befindlicher Punkt, für den die Momente der Kräfte gleich sind, in der Richtung ihrer Resultirenden liegen muß. Es seyen P und Q zwei Kräfte (Fig. 18), A und B ihre Angriffspunkte, AC und BD ihre Richtungen, und es werde vorausgesetzt, daß für den Punkt E, wovon auf AC und BD die Senkrechten EF und EG gezogen sind, $P . EF = Q . EG$ sey. Soll die Resultirende der zwei Kräfte P und Q nicht durch E gehen, so gehe sie durch H. Man verlängere AC und BD bis sie sich in K scheiden, ziehe KH, welche die Richtung der Resultirenden der Kräfte P, Q seyn wird, ferner HL senkrecht auf KC, und man hat $P.HL = Q.HG$ (94). Aus dieser Gleichung und aus der Voraussetzung folgt $EF : HL = EG : HG$; es müßten daher die Dreiecke EFG, HLG, deren bei E und H liegende Winkel gleich sind, einander ähnlich seyn, und deßhalb wären auch die Winkel FGE, LGE gleich, welches absurd ist. Sind die Richtungen der Kräfte P, Q einander parallel, ist ferner H (Fig. 17) ein Punkt von der Eigenschaft, daß die Gleichung $P.HI = Q.HK$ besteht, so geht die Richtung der Resultirenden genannter Kräfte durch H; denn ginge sie durch den Punkt H' der IK, so wäre auch $P.H'I = Q.H'K$, mithin $HI : H'I = HK : H'K$, was ungereimt ist, weil $HI < H'I$ und zugleich $HK > H'K$.

96. Soll ein System von Kräften, die zwar verschiedene, aber unveränderlich mit einander verbundene Angriffspunkte haben, im Gleichgewichte stehen; so muß eine der Kräfte der Resultirenden der übrigen gleich und entgegengesetzt seyn. Ist ein Punkt dieses Systems unbeweglich, so muß durch diesen die Resultirende aller Kräfte gehen; stützt es sich auf eine ebene oder gekrümmte Fläche, längs welcher es hingleiten kann, so muß die Richtung der Resultirenden auf dieser Fläche senkrecht stehen, und falls sich das System und diese Fläche nur an einem Punkte berühren, durch diesen Punkt gehen; berühren sie sich in zwei Punkten, so muß die Resultirende in die gerade Linie fallen, welche diese zwei Punkte verbindet; tritt endlich die Berührung in mehreren, nicht in einer geraden Linie liegenden Punkten ein, so darf die Resultirende die Fläche nicht außerhalb des durch die Berührungspunkte bezeichneten Polygons treffen. Es geht aus der Natur der Sache hervor, daß unter diesen Bedingungen die Resultirende der Kräfte durch den Widerstand aufgehoben werde, daß aber in jedem anderen Falle eine fortschreitende oder drehende Bewegung eintreten müsse.

Zweites Kapitel.

Theorie der Schwere und Gleichgewicht fester schwerer Körper.

97. Unter allen Naturkräften spielt keine eine größere Rolle, als die Schwerkraft; deßhalb sollen auch ihre Gesetze zuerst aus den allgemeinen Gesetzen der Kräfte überhaupt abgeleitet werden. Bekanntlich gehört diese Kraft in die Classe der anziehenden Kräfte, und ist jedem materiellen Theilchen eigen (30). Aus Beobachtungen an Himmelskörpern hat man abstrahirt, daß diese Kraft von der materiellen Verschiedenheit der Körper ganz unabhängig ist, und allein im geraden Verhältnisse mit der Masse des anziehenden Körpers, im verkehrten mit dem Quadrate der Entfernung der anziehenden und angezogenen Masse zunimmt. Ist P die Kraft, welche die Masse M auf einen materiellen Punkt in der Entfernung D ausübt, p diejenige, womit die Masse m auf denselben Punkt in die Entfernung d wirkt, so hat man $P:p = \frac{M}{D^2} : \frac{m}{d^2}$. Setzt man $m = 1$, $d = 1$; so ist p die Kraft, womit die Masse = 1 auf genannten Punkt in die Entfernung = 1 wirkt, und man hat $P = p \cdot \frac{M}{D^2}$. In dieser Formel bedeutet jedoch M eine Masse von so geringer Ausdehnung, daß es gleichgiltig ist, von welchem ihrer Punkte man die Entfernung D mißt; sie kann also an und für sich nur ein Elementartheilchen vorstellen, wenn das Resultat der Rechnung, nach diesem Ausdrucke, ganz scharf seyn soll. Hat daher die anziehende Masse eine angebbare Ausdehnung, so muß man für jeden Punkt derselben eine solche Gleichung aufstellen, die Kraft, welche von jedem Punkte ausgeht, finden, und aus allen diesen Kräften die Resultirende berechnen.

98. Wir wollen dieses auf die Erde anwenden und durch AB (Fig. 19) einen Querschnitt derselben vorstellen, welcher durch den außer ihr liegenden, angezogenen Punkt a geht. Jedes innerhalb AB liegende Theilchen m, m', m'' sucht den Punkt a nach den Richtungen am, am', am'' ꝛc. und mit der Kraft $p \cdot \frac{m}{am^2}$, $p \cdot \frac{m'}{am'^2}$, $p \cdot \frac{m''}{am''^2}$ ꝛc. an sich zu ziehen. Die Resultirende aller dieser Kräfte gibt die Anziehungskraft der ganzen in diesem Querschnitte der Erde liegenden Masse an. Dasselbe wird mit den Elementartheilen der Erde der Fall seyn, welche in einem anderen durch a gehenden Querschnitte derselben liegen, und die Resultirende aller dieser resultirenden Kräfte gibt die gesammte Anziehung, welche die Erde auf a ausübt. Die Richtung dieser Kraft muß offenbar in die Linie fallen, welche von allen Seiten symmetrisch von der Masse der Erde umgeben ist. Hat daher die Erde die Gestalt einer Kugel, so ist jeder Querschnitt, wie AB, ein Kreis, und wenn sie durchaus oder doch in gleichen Entfernungen vom Centrum gleich dicht ist, so ist die von a nach ihrem Centrum C gezogene gerade Linie von der genannten Art, und zeigt daher die Richtung der resultirenden

Anziehung an. Man kann überdieß noch durch Rechnung zeigen, daß die Anziehung der Erde unter der Voraussetzung ihrer Kugelform und der genannten Anordnung ihrer Masse, welche Voraussetzungen von der Wahrheit nicht stark abweichen und in den meisten Fällen hinreichend genaue Resultate gewähren, so erfolge, als wäre ihre ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereiniget. Es wird daher jeder materielle Punkt a gegen das Centrum der Erde hingezogen mit einer Kraft, welche durch den Ausdruck $p \cdot \frac{M}{D^2}$ bezeichnet wird, wo p die vorher angenommene Bedeutung hat, M aber die Masse der Erde, und D die Entfernung des Punktes a vom Erdmittelpunkte bezeichnet. Was mit dem Punkte a erfolgt, geschieht auch mit jedem anderen nach Maßgabe seiner Entfernung von dem Erdmittelpunkte. Betrachtet man also die Wirkung der Erde auf einen Körper, d. h. auf ein Aggregat von Punkten; so kann man sich vorstellen, als würde jeder derselben nach ihrem Centrum hingezogen. Die Richtungen, nach welchen diese Punkte gezogen werden, convergiren zwar nach dem Mittelpunkte hin, allein wegen der bedeutenden Größe des Erdhalbmessers und der geringen Ausdehnung der Körper auf der Erde kann man ohne Fehler annehmen, alle diese Kräfte wirken nach parallelen Richtungen, und kann jeden schweren Körper als ein System von Angriffspunkten parallel wirkender Kräfte betrachten. Diese Kräfte sind nur in so ferne für alle Punkte gleich groß, als diese eine gleiche Entfernung vom Centrum der Erde haben; doch dieses ist bei keinem Körper streng genommen der Fall. Für die oberen Punkte ist diese Entfernung stets größer als für die unteren, ja selbst für die neben einander in horizontaler Richtung liegender ist sie nicht gleich groß; allein hier kommt uns wieder die geringe Ausdehnung der gewöhnlichen Körper gegen die Größe der Erde gut zu Statten, und erlaubt, alle Punkte eines Körpers von gewöhnlicher Ausdehnung als gleich weit vom Erdmittelpunkte entfernt anzunehmen und sich demnach vorzustellen, jeder Punkt eines Körpers werde von parallelen und gleichen Kräften gegen das Centrum der Erde hingezogen. Die Resultirende aller dieser Kräfte an einem Körper stellt dessen Gewicht vor, der Mittelpunkt derselben (92) heißt sein Schwerpunkt. Hieraus ist leicht zu entnehmen, daß alle gleich weit von dem Centrum der Erde entfernten Körper gleich schwer sind, und daß die weiter davon entfernten leichter sind, als die näheren. Befindet sich ein Körper innerhalb der Erde, so wirken einige Theile derselben einwärts, andere auswärts ziehend. Dadurch wird das vorhin aufgestellte Gesetz der Schwere geändert, und es wächst dieselbe nicht mehr im verkehrten quadratischen, sondern im directen einfachen Verhältnisse der Entfernung vom Mittelpunkte. Eigentlich sollte man bei einer genauen Erwägung der Wirkungen der Schwerkraft dieselben als das Resultat einer gegenseitigen Anziehung zwischen der Erde und den Körpern auf ihr ansehen; allein auch dieses erläßt uns die unbedeutende Größe der beweglichen Theile der Erde gegen ihre ganze Masse, und man kann, ohne einen Fehler befürchten zu dürfen, von der Wechselseitigkeit der Anziehung ganz absehen.

99. Jeder Körper, dessen Theile unveränderlich mit einander verbunden sind, aber auch nur ein solcher, hat einen Schwerpunkt; denn nur bei Kräften mit unveränderlich verbundenen Angriffspunkten gibt es einen Mittelpunkt. Daher kann man nur bei festen Körpern von einem Schwerpunkte sprechen, flüssige haben nur in so ferne einen, als sie sich in Gefäßen befinden und als feste Massen betrachtet werden können. Man kann sich vorstellen, daß in ihm das ganze Gewicht des Körpers vereinigt sey. Bei Körpern von gleichförmiger Dichte, welche einen Mittelpunkt der Figur haben, muß der Schwerpunkt in diesem liegen, bei ungleichförmig dichten hingegen mehr gegen die dichteren Theile zu; bei manchen Körpern, z. B. bei Ringen, liegt er ganz außerhalb der Masse.

100. Man bestimmt den Schwerpunkt durch Versuche und durch Rechnung. Hängt ein Körper ruhig an einem biegsamen Faden, so liegt sein Schwerpunkt offenbar in dessen Verlängerung. Wird ein Körper hinter einander an zwei verschiedenen, einander nicht gerade entgegengesetzten Stellen an einem Faden befestiget aufgehängt, und in beiden Lagen die Richtung des verlängerten Fadens an ihm angemerkt; so ist der Durchschnittspunkt dieser beiden Richtungen der Schwerpunkt des Körpers. Auf diese Weise wird meistens der Schwerpunkt bestimmt; man zieht sie oft sogar der Rechnung vor, weil diese eine Gleichheit der Dichte an Körpern voraussetzt, welche in der Erfahrung selten Statt findet, und auch Kenntnisse der Integralrechnung fordert. Indessen gibt es auch Elementarmethoden für einzelne Fälle.

Der Schwerpunkt eines Dreieckes ist eigentlich der aller schweren in ihm enthaltenen Punkte. Jeder Punkt liegt aber in einer geraden Linie, welche mit einer der Seiten des Dreieckes parallel gezogen ist, und alle in einer solchen Linie befindlichen Punkte haben ihren Schwerpunkt in der Mitte dieser Linie. Alle Halbirungspunkte der mit einer Dreieckseite parallelen Linien liegen wieder für sich in einer geraden Linie. Zieht man daher im Dreiecke ABC (Fig. 20) AD und BE, so daß $BD = DC$ und $AE = EC$ ist; so muß der Schwerpunkt des Dreieckes sowohl in AD als in BE, mithin in ihrem Durchschnittspunkte F liegen. — Zur näheren Bestimmung dieses Punktes ziehe man ED, und man hat wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AFB mit EFD und ECD mit ACB

$$AF:FD = AB:ED, \quad AB:ED = AC:EC = 2:1, \quad \text{mithin}$$
$$AF:FD = 2:1 \quad \text{oder} \quad AF:AD = 2:3, \quad \text{d. i.} \quad AF = \tfrac{2}{3}AD.$$

Auf ähnliche Weise findet man den Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide. Durch jeden Punkt derselben läßt sich eine Ebene legen, die mit einer beliebigen der vier Grenzflächen der Pyramide parallel ist, und letztere in einem Dreiecke schneidet. Der Schwerpunkt eines jeden dieser Dreiecke läßt sich nach obiger Methode finden, und die Schwerpunkte aller parallelen Dreiecke liegen in einer geraden Linie. Ist daher in der Pyramide (Fig. 21) $AE = EC$ und $FB = \tfrac{2}{3}EB$, so liegt der Schwerpunkt der ganzen Pyramide in DF. Aus demselben Grunde liegt der Schwerpunkt der Pyramide in BG, wenn $DG = \tfrac{2}{3}DE$ ist, daher im Durchschnitte H beider Linien. — Man ziehe GF, so hat man, wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke GHF, DHB, dann der Dreiecke EGF, EDB; $DH:HF = DB:GF$, $DB:GF = DE:EG = 3:1$, mithin $DH:HF = 3:1$ und $DH:DF = 3:4$ oder $DH = \tfrac{3}{4}DF$.

101. Hängen die Theile eines Körpers so zusammen, daß sie sich durch ihr Gewicht nicht von einander trennen, wie dieses bei den festen Körpern größten Theils der Fall ist; so braucht man nur seinen Schwerpunkt, den angegebenen Gesetzen gemäß, zu unterstützen, um sein Fallen zu verhindern. Hierauf beruhen die schiefen Thürme zu Pisa und Bologna, das Balanciren, die Haltung unsers Körpers beim Gehen, Sitzen, Aufstehen, Lasttragen, die Künste des chinesischen Burzelmannes, die Rolllampe u. s. w. Daß man den Schwerpunkt eines Körpers auf zweierlei Art unterstützen kann, nämlich, indem man ihn aufhängt oder auf eine Unterlage stellt, ist bekannt.

102. Nicht jeder Körper, der durch Unterstützung seines Schwerpunktes gegen das Fallen geschützt ist, hat bei jeder Art der Unterstützung und unter allen Umständen einen gleich sichern Stand. Ist die Lage eines Körpers so beschaffen, daß sein Schwerpunkt tiefer liegt, als bei jeder anderen, in die er durch geringe Verrückung versetzt werden kann; so wird er selbst dann, wenn ihn eine Kraft bis zu einer gewissen Grenze aus dieser Lage bringt, wieder dahin zurückkehren. Man sagt, er sey im stabilen Gleichgewichte. Hat sein Schwerpunkt einen höheren Stand, als er durch eine geringe Neigung erlangt; so kehrt er in diese seine Lage nicht mehr zurück, sobald man ihn durch eine auch noch so kleine Verrückung daraus bringt, und dann heißt es, er sey im labilen Gleichgewichte. Ein Körper, der im oberen Theile seiner Masse unterstützt ist, wie z. B. ein an einem Faden hängender Körper, hat stets ein stabiles Gleichgewicht; ein von unten an einem Punkte unterstützter Körper kann in stabilem oder labilem Gleichgewichte seyn. Man denke sich z. B. einen von einer krummen Fläche begrenzten Körper, z. B. ein Ei. Liegt dieses so auf einem Tische, daß seine größere Axe horizontal ist, so hat es eine stabile, wenn aber diese Axe vertical steht, eine labile Lage. Ein von unten unterstützter Körper, der seine Unterlage in wenigstens drei Punkten, die nicht in einer Geraden liegen, berührt, ist stets in stabilem Gleichgewichte oder hat Stabilität. Bringt man einen stabilen Körper mehr und mehr aus seiner Lage, so gelangt er endlich in eine andere Gleichgewichtslage, die aber labil ist; durch fortgesetztes Neigen kommt er wieder in eine stabile Lage, und so folgt stets auf einen stabilen ein labiler Stand, in welchem er im Gleichgewichte steht, in jeder Zwischenlage muß er aber fallen. Man kann sich dieses leicht durch einen Würfel versinnlichen. Um einen solchen Körper aus einer stabilen Lage nach einer gewissen Seite hin zu drehen, braucht man eine gewisse Kraft, welche die Größe seiner Stabilität nach dieser Seite hin angibt. Um diese Kraft zu bestimmen, sey M (Fig 22) ein Körper, der auf der Horizontalen EF ruht und seinen Schwerpunkt in G hat. Das Gewicht dieses Körpers sey P, die Kraft, welche ihn um die Kante D zu drehen sucht, heiße Q, und ihre Richtung, die horizontal angenommen wird, werde durch HG vorgestellt. Die Resultirende dieser zwei Kräfte darf für den Fall des Gleichgewichtes nicht über die

Basis CD hinausfallen, und es wird die Kraft Q der Stabilität gleich seyn, wenn die Resultirende von P und Q durch D geht. Zieht man von D auf die verlängerte HG die Verticale DI, und läßt auch von G die Verticale GK herab, so sind P.DK und Q.DI = Q.KG die Momente der Kräfte in Beziehung auf einen Punkt der Kante D, und man hat

$$P \cdot DK = Q \cdot KG \text{ oder } Q = P \cdot \frac{DK}{KG},$$

d. i. die Stabilität eines Körpers ist desto größer, je größer sein Gewicht ist, je tiefer sein Schwerpunkt liegt und je weiter er von der Kante entfernt ist, um die er gedreht wird. Nach diesem Gesetze wird die Standfähigkeit der Mauern, Möbel, belasteter Wägen, selbst der mehr oder weniger feste Stand eines Menschen beurtheilt.

Drittes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an Maschinen.

103. Maschine heißt jede Vorrichtung, mittelst welcher eine Kraft auf einen außer ihrer Richtung liegenden Punkt wirkt. Gewöhnlich ist damit auch eine Aenderung in der Größe der Wirksamkeit dieser Kraft verbunden. Es liegt in der Natur der Sache, daß der Bewegung des Punktes, worauf dieselbe mittelst der Maschine wirken soll, ein Hinderniß entgegenstehe, weil sonst kein Grund vorhanden wäre, die Maschine anzuwenden. Dieses Hinderniß läßt sich stets als eine Gegenkraft betrachten, welche in Bezug auf erstere, die hier vorzugsweise Kraft heißt, die Last genannt wird. Es kommen daher bei jeder Maschine wenigstens diese zwei Kräfte in Betrachtung. Um die Vermittlung der Maschine zwischen der Kraft und Last einzusehen, denke man sich die Kraft so gewählt, daß sie der Last das Gleichgewicht hält. Das Verhältniß, in welchem die Größe der Kraft zu jener der Last hiebei steht, heißt das statische Verhältniß. Aus dem Begriffe einer Maschine geht hervor, daß die Richtungen der Kraft und Last einander nicht gerade entgegengesetzt sind; soll nun zwischen beiden Kräften Gleichgewicht herrschen, so müssen sich dieselben auf andere Kräfte reduciren lassen, welche dadurch unwirksam gemacht werden, daß ihre Richtungen durch unbewegliche Punkte gehen. Eine Maschine muß demnach derlei Punkte enthalten. Sie heißen Unterstützungspunkte. Eine Maschine, wovon kein Bestandtheil selbst wieder eine Maschine ist, heißt einfach, widrigenfalls zusammengesetzt.

104. Um die einfachen Maschinen auf einen Grundtypus zurückzuführen, lassen wir die Richtungen der Kraft und Last in dieselbe Ebene fallen. Diese Kräfte werden hier eine in derselben Ebene wirkende Resultirende erzeugen, zu deren Vernichtung die Maschine in der Richtung letzterer Kraft einen fixen Punkt enthalten muß. Ist nun

(Fig. 14) A der Angriffspunkt der längs AC wirkenden Kraft P, B jener der nach BD gerichteten Last Q, und G der fixe Punkt, so geht, im Falle des Gleichgewichtes, die Richtung der Resultirenden R durch G, und die Größe derselben bestimmt zugleich den Druck, den G nach dieser Richtung auszuhalten hat. Aus 91 ist bekannt, daß, wenn aus G auf AC und BD die Senkrechten GH und GK fallen, und H mit K durch eine Gerade verbunden wird, die Proportion

$$P : Q : R = GK : GH : HK$$

Statt findet, welche daher nicht bloß das statische Verhältniß der Kraft und Last, sondern auch jenes des vom Unterstützungspunkte zu leistenden Widerstandes zu beiden Kräften anzeigt. Uebrigens ist klar, daß der fixe Punkt nicht geradezu ein einzelner Punkt zu seyn braucht, sondern irgend ein Punkt einer festen Fläche seyn kann, gegen welche die Resultirende der Kraft und Last normal wirkt (96). Hiernach zerfallen die einfachen Maschinen in zwei Abtheilungen. Zur ersten Abtheilung gehören jene, bei welchen die Unterstützung durch einen Punkt gegeben ist. Diese sind die Stangen- oder Seilmaschine, der Hebel, das Wellrad und die Rolle. Die zweite Abtheilung hingegen umfaßt die Maschinen, bei denen die Aufhebung der Resultirenden durch eine Fläche bewirkt wird. Sie sind die geneigte Ebene (oder allgemeiner eine beliebige krumme Fläche) die Schraube und der Keil.

105. Die Stangen- (oder Seil-) Maschine besteht aus drei Stangen, AO, BO, CO [Fig. 23] (Stricken, Schnüren, Ketten u. dgl.), welche in einem Punkte O, um welchen sie sich frei bewegen können, mit einander verbunden sind; an dem Ende A der einen, längs ihrer Richtung AO oder OA, wirkt die Kraft P, an dem Ende B der zweiten längs BO oder OB die Last Q, und das Ende C der dritten ist dergestalt befestigt, daß sich dieselbe um den fixen Punkt C drehen kann. Im Zustande des Gleichgewichtes muß offenbar die Richtung der Resultirenden der Kräfte P und Q in die Gerade OC fallen. Es findet demnach das in 104 Gesagte hier seine volle Anwendung. Zieht man nämlich von C (oder von irgend einem anderen Punkte der CO, O ausgenommen) auf AO, BO die Senkrechten CH, CK, so ist

$$P : Q = CK : CH.$$

Hierauf beruht auch die Wirksamkeit der sogenannten Kniepresse. (S. Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 20. Fig. 13. Fechner in Pogg. Ann. 41. 501. Vergl. 42. 350.)

Nach dem in der Anmerkung zu 91 Gesagten ist leicht einzusehen, daß, wenn man die Kraft, welche C auszuhalten hat, R nennt, die Proportion $P : Q : R = \sin BOC : \sin AOC : \sin AOB$ Statt findet.

106. Ein Hebel ist eine unbiegsame Stange oder Linie ACB (Fig. 26 a und b), die um einen Punkt C (Unterstützungspunkt) beweglich ist, außer welchem die Kraft P und die Last Q angebracht sind. AC und BC heißen die Hebelarme. Wird diese Stange schwerlos gedacht, so heißt der Hebel ein mathematischer, ist sie schwer, ein physischer Hebel; liegen A, C, B in einer geraden Linie,

so ist der Hebel ein geradliniger, sonst ein Winkelhebel. Liegt der Unterstützungspunkt zwischen den Angriffspunkten der Kraft und Last, so heißt der Hebel zweiarmig, widrigenfalls einarmig. Ist AB ein mathematischer Hebel, er mag nun ein- oder zweiarmig, geradlinig oder ein Winkelhebel seyn; so stehen die Kräfte P und Q im Gleichgewichte, wenn sie sich verkehrt verhalten, wie die Senkrechten CD und CE, welche vom Unterstützungspunkte auf die Richtungen der Kräfte gezogen sind, oder wenn die Momente der Kraft und Last in Beziehung auf den Unterstützungspunkt einander gleich sind; denn bei diesem Verhältnisse der Kräfte zu einander geht die Resultirende von P und Q durch den Unterstützungspunkt C (95), und es kann keine Bewegung erfolgen. — Man kann diesen Satz auch umkehren und sagen: Sobald am Hebel AB Gleichgewicht herrscht, muß obige Proportion Statt finden. Denn es wird ersteres offenbar nur dann seyn können, wenn die Resultirende der Kräfte P und Q durch den Unterstützungspunkt geht; dieses ereignet sich aber nur, wenn $P.CD = Q.CE$, oder wenn $P:Q = CE:CD$ ist. Wirken die Kräfte P und Q parallel auf einen geradlinigen Hebel, so stehen sie im Gleichgewichte, wenn sie sich verkehrt, wie die Hebelarme verhalten.

107. Der physische Hebel kann in einen mathematischen verwandelt werden, wenn man sein ganzes Gewicht in seinem Schwerpunkte vereint annimmt, und ihn dann als schwerlos behandelt. Für den Stand des Gleichgewichtes muß das Moment dieses Gewichtes in Beziehung auf den Unterstützungspunkt zu dem Momente der Kraft addirt werden, wenn der Schwerpunkt auf die Seite der Kraft fällt und diese abwärts wirkt, oder wenn der Schwerpunkt auf die Seite der Last fällt und diese aufwärts wirkt; in den übrigen Fällen muß gedachtes Moment zu jenem der Last addirt werden. Hievon überzeugt man sich sogleich, wenn man eine der Kräfte am Hebel in zwei Theile zerlegt, wovon der eine der andern Kraft, der zweite aber dem im Schwerpunkte des Hebels vereinigten Gewichte desselben das Gleichgewicht hält.

108. Der Hebel ist schon deßhalb sehr wichtig, weil er in sehr vielen Vorrichtungen zum Behufe der Gewerbe und Künste Anwendung findet, wie z. B. in den Brecheisen, Schaufeln, Zangen, Scheren, Hebladen, Hammerwerken, Rudern u. s. w.; für den Physiker wird er es nebst anderen besonders dadurch, daß darauf eines seiner wichtigsten Instrumente, die Wage beruht. Man unterscheidet zwei Gattungen Wagen, nämlich die gemeine Wage und die Schnellwage. Für die Physik ist die erstere besonders wichtig. Die gemeine Wage (Fig. 25) besteht, wie bekannt, aus dem Wagebalken, der Schere, der Zunge und aus den Schalen, die am Balken hängen. An ihr sollen sich zwei gleiche, übrigens beliebige Gewichte das Gleichgewicht halten, wenn jedes derselben in eine Schale gelegt wird. Dazu gehört, 1) daß der Wagebalken mit den Schalen für sich im Gleichgewichte stehe, welches der Fall ist, wenn beide Arme im unbelasteten Zustande gleich schwer sind, und auch ihre Schwer-

punkte eine gleiche Entfernung von der Drehungsaxe des Wagebalkens haben; 2) daß die beiden Arme gleich lang sind, und daher auch gleiche Lasten ein gleiches Moment in Bezug auf die Axe haben. — Diese Bedingungen sind aber in der Ausübung völlig unerreichbar, ja selbst, wenn sie auch einmal erreicht sind, so werden sie doch durch die kleinste ungleiche Erwärmung wieder aufgehoben. Demnach sind die besten Wagen, genau genommen, doch noch falsche Wagen, aber die Fehler sind so klein, daß man sie in vielen Fällen ganz vernachläßigen kann. Glücklicher Weise läßt sich nicht nur allein die Falschheit einer Wage sehr leicht erkennen, sondern auch bei dem Abwägen ein Verfahren anwenden, mittelst dessen man selbst mit einer falschen Wage das Gewicht eines Körpers richtig findet, und welches daher bei subtilen Untersuchungen, wenn man auch mit den besten Wagen zu thun hat, angewendet werden muß. Die Richtigkeit einer Wage wird dadurch geprüft, daß man, nachdem man an derselben zwei Lasten in das Gleichgewicht gesetzt hat, diese unter einander verwechselt. Aendert sich hiebei die Ruhelage des Wagebalkens, so ist die Wage unrichtig. Um mit einer solchen Wage dennoch richtig zu wägen, legt man den abzuwägenden Körper A in eine Schale, und so viel Tara in die andere, als nöthig ist, um das Gleichgewicht herzustellen, nimmt hierauf A heraus, setzt dafür Gewichte P, so daß das Gleichgewicht fortbesteht. Hier muß $P = A$ seyn, wenn zwischen den Zapfen und Pfannen keine Reibung Statt findet. Da aber diese Reibung immer vorhanden ist, so muß man ihren Einfluß dadurch unschädlich machen, daß man denselben bei beiden Abwägungen von derselben Größe zu erhalten sucht. Dieses wird dadurch bewirkt, daß man den Wagebalken, sobald A mit der Tara ins Gleichgewicht gekommen ist, in der Lage seiner Ruhe unterstützt, erst hierauf A wegnimmt, durch Gewichte ersetzt, denen nicht viel von A fehlt, und dann erst den Balken frei läßt.

Unter den oben angegebenen Bedingungen wird eine Wage zwar richtig seyn, aber doch noch nicht die zum bequemen Gebrauche nöthige Einrichtung haben. Dazu wird überdieß noch erfordert, daß der Balken bei gleicher Belastung auf beiden Seiten in einer Lage in Ruhe komme, bei welcher die Verbindungslinie der beiden Aufhängungspunkte der Schalen eine horizontale und stabile Lage hat, und bei einer ungleichen Belastung desto mehr von dieser Lage abweiche (einen desto größeren Ausschlag gebe), je größer die Ungleichheit der Belastung ist. Dazu ist nothwendig, daß die genannte Verbindungslinie nicht über der Axe des Balkens vorbeigehe, und der Schwerpunkt des Balkens unter der Axe sich befinde; überdieß erheischt die Richtigkeit der Wage, daß die geraden Linien, welche man von einem Aufhängepunkte der Schalen zum anderen und vom Schwerpunkte des Balkens zu seiner Drehungsaxe zieht, auf einander senkrecht stehen, und erstere durch letztere halbirt werde. Man nennt den Halbirungspunkt ersterer Geraden den Mittelpunkt des Wagebalkens. Je kleiner der Abstand des Mittelpunktes, wie auch des Schwerpunktes von der Drehungsaxe des Wagebalkens in Vergleichung mit der Länge

seiner Arme ist, desto größer wird bei gegebener gleicher Belastung der Wagschalen der Neigungswinkel (Ausschlagwinkel) des Balkens, den ein bestimmtes, auf eine der Schalen gelegtes Uebergewicht hervorbringt, und desto empfindlicher ist daher die Wage. Fällt der Mittelpunkt des Wagebalkens in die Drehungsaxe selbst, so hängt der Ausschlagwinkel bloß von dem Belastungsunterschiede der Wagschalen ab.

Ist im letzteren Falle c die Drehungsaxe des Balkens, d sein Schwerpunkt, und sind a und b die Aufhängungspunkte der Schalen; so wird erfordert, daß d unter c liege und ab von cd senkrecht halbirt werde. Es seyen P und Q die Belastungen von a und b, und man denke sich $P = Q$. Unter dieser Voraussetzung wird die Resultirende beider Kräfte durch c gehen und dadurch aufgehoben werden. Damit nun bei einer horizontalen Lage der Linie ab der Balken stabil ruhe, muß der Schwerpunkt unter c in einer verticalen Linie liegen und ab auf cd senkrecht seyn. Ist aber $P > Q$, so setze man $P = Q + R$, denke sich beiderseits die zwei gleichen Kräfte Q weggenommen, und es wird der Erfolg derselbe seyn, als wenn nur R allein auf einer Schale sich befände. Diese Kraft wird den Arm an ihrer Seite herabziehen und ihn so weit neigen, bis das Moment der Kraft R in Bezug auf die Axe c dem Momente des im Schwerpunkte d vereinigten Gewichtes des Balkens in Bezug auf c gleich ist. Es ist begreiflich, daß diese Neigung desto größer seyn wird, je größer R und je kleiner cd ist. Fällt aber der Mittelpunkt des Wagebalkens unterhalb c in m, so muß man diesen Punkt mit dem Gewichte 2Q belastet denken, und das Uebergewicht R wird den Balken nun so weit neigen, bis das Moment von R hinsichtlich der Drehungsaxe c der Summe der Momente der Kräfte 2Q und des Gewichts des Balkens in Bezug auf c gleichkommt. — Man schätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach dem aliquoten Theil der größten Belastung, den sie noch anzuzeigen vermag. Eine gute Wage soll wenigstens $\frac{1}{60000}$ dieser Last anzeigen. Ramdens berühmte Wage gab bei einer Belastung von 10 Pfd. noch 0.006 Gr., also den 12millionsten Theil der Belastung an. Fortins Wagen zeigen bei 4 Pf. Belastung noch $\frac{1}{50}$ Gran, mithin $\frac{1}{1536000}$ der Last. Die Wagen, welche Florenz in Wien verfertigt, geben bei einer Belastung von $4\frac{1}{2}$ Pfd. noch mit $\frac{1}{8}$ Richtpfennig, also mit $\frac{1}{4718592}$ einen sehr deutlichen Ausschlag.

109. Die Schnellwage (Fig. 26) hat einen Balken mit ungleichen Armen. An einem bestimmten Punkte des kürzern Armes wird der abzuwägende Körper A angebracht und am längern ein bestimmtes Gewicht P (der Laufer) so lange hin oder her geschoben, bis es mit A im Gleichgewichte steht. Hält der unbelastete Balken in der horizontalen Lage aus, in welchem Falle die Wage eine mathematische Schnellwage heißt, und ist die Entfernung des Körpers von der Axe $= a$, die des Laufers $= b$; so ist offenbar $Aa = Pb$ oder $A = P.\frac{b}{a}$, und für $a = 1$, $A = Pb$. Man kann daher a auf den längern Arm so oft übertragen, als es angeht, und durch Multiplication des Laufergewichtes mit der Anzahl Theilstriche, die zwischen den Laufer und die Axe fallen, das Gewicht von A bestimmen. Bleibt aber der Balken unbelastet nicht in der horizontalen Lage in Ruhe, d. h. ist die Wage eine physische Schnellwage; so kann obige Gleichung nicht gelten,

und man bestimmt die Punkte des längeren Armes, an welchem P mit einer gewissen Last im Gleichgewichte steht, besser durch Erfahrung.

110. Das **Wellrad** stellt Fig. 27 vor. Es ist ein um seine Axe beweglicher Cylinder mit einem Rade, dessen Axe mit jener des Cylinders zusammenfällt, und zugleich auf der Ebene des Rades senkrecht steht. Die Kraft wirkt am Umfange des Rades, die Last am Umfange des Cylinders. Denkt man sich die Last in die Ebene des Rades versetzt, so wird dadurch am Erfolge der Kraft nichts geändert, weil Welle und Rad mit einander unveränderlich verbunden sind, und dann stellt Fig. 28 einen Querschnitt dieser Maschine vor, aus dem ersichtlich wird, daß sie auf einen Hebel zurückgeführt werden kann, dessen Ruhepunkt C in der Axe des Rades liegt, während in A die Last Q, in B die Kraft P wirkt. Obgleich man das Wellrad als eine besondere einfache Maschine anzusehen pflegt, so ist es doch nur eine so oftmalige Wiederholung desselben Hebels, als sich Rad- und Wellenhalbmesser denken lassen. Man hat daher für den Zustand des Gleichgewichtes $P:Q = AC:BC$, d. i. die Kraft verhält sich zur Last, wie der Halbmesser des Cylinders zum Halbmesser des Rades; der Druck aber, den der Ruhepunkt C auszuhalten hat, ist der Verbindungslinie der Punkte A und B proportionirt (104), so daß derselbe sich ändert, wenn A und B an andere Stellen des Umfanges der Welle und des Rades fallen, ohne daß deßhalb an dem statischen Verhältnisse der Kraft und Last eine Aenderung vor sich geht. Das Wellrad erscheint im gemeinen Leben als Winde, Haspel, Göpel, Zahnrad, Wasserrad u. s. w.

111. Eine **Rolle** ist eine kreisrunde, an ihrem Umfange mit einer Rinne versehene Scheibe. Ist sie bloß um ihre Axe beweglich, so heißt sie **fix**; läßt sie sich aber nicht bloß um ihre Axe drehen, sondern auch sammt derselben bewegen, so nennt man sie **beweglich**. Es stelle Fig. 29 eine Rolle vor, AB sey ein von einem absolut biegsamen Stricke umfaßtes Bogenstück, C ihr Mittelpunkt, P und P′ Kräfte, welche nach AD und BE wirken, so daß AD und BE Tangenten der Scheibe sind. Ist nun C ein fixer Punkt, so wird zum Gleichgewichte der genannten Kräfte erfordert, daß

$$P \,.\, CA = P' \,.\, CB, \quad \text{d. i.} \quad P = P'$$

sey; in der fixen Rolle ist also im Stande des Gleichgewichtes die Kraft gleich der Last. Der Druck der hiebei auf C ausgeübt wird, verhält sich nach 104 zu jeder der Kräfte, wie die Sehne AB des vom Stricke umfaßten Bogens zum Halbmesser CA der Rolle. Denkt man sich einen Punkt des Strickes BE durch einen Nagel fest gehalten, dafür aber in C eine Kraft Q dem oben erwähnten Drucke entgegen wirkend und ihm an Größe gleich, welche Kraft offenbar von C gegen den Durchschnittspunkt F der verlängerten AD und BE gerichtet seyn muß; so hat man eine bewegliche Rolle vor sich, wobei P die Kraft und Q die Last ist. Daher verhält sich in der beweglichen Rolle im Gleichgewichte die Kraft zur Last, wie der Halbmesser der Rolle zur Sehne des vom Stricke umfaßten Bogens. Für parallele Kräfte wird $P:Q = AC : 2\,AC = 1:2$. So lange $AB > AC$, oder der

umfaßte Bogen größer ist als 60° und kleiner als 300°, findet Gewinn an Kraft Statt; sobald aber dieser Bogen kleiner wird als 60° oder größer als 300°, herrscht das Gegentheil.

112. Jede Ebene, die mit einer horizontalen einen spitzigen Winkel macht, heißt geneigt oder schief. Ist C (Fig. 30) ein Punkt der Durchschnittslinie der geneigten Ebene mit einer horizontalen, BC in ersterer, AC in letzterer auf diese Durchschnittslinie senkrecht, und BAC ein rechter Winkel, mithin BA vertical, so heißt AC die Basis, AB die Höhe, BC die Länge und ACB der Neigungswinkel der schiefen Ebene. Befindet sich auf BC ein Körper, dessen Schwerpunkt in G ist und dessen Gewicht Q heißt, so sucht ihn die Schwere nach der verticalen Richtung Gz zu bewegen. Soll ihn eine Kraft P, die nach GD wirkt, auf BC erhalten, so muß die Richtung der Resultirenden von P und Q auf BC senkrecht stehen, und durch die Grundfläche des Körpers gehen, widrigen Falls derselbe auf der Ebene umschlagen würde. Ist daher GE die Richtung dieser Resultirenden, und stehen EH und EK auf GD und Gz senkrecht, so wird für den Zustand des Gleichgewichtes im Allgemeinen seyn:

$$P : Q = EK : EH.$$

In dem besonderen Falle, wenn P der Basis der schiefen Ebene parallel wirkt (Fig. 31), ist $EH = GK$, und da hier die Dreiecke GEK, ABC ähnlich sind, ist $EK : GK = AB : AC$, daher

$$P : Q = AB : AC,$$

d. h. es verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Basis. Ist aber die Richtung der Kraft P der Länge der schiefen Ebene parallel (Fig. 32), so fällt EH in die EG, und man hat $P : Q = EK : EG$. Die Aehnlichkeit der Dreiecke EGK, ABC gibt aber $EK : EG = AB : BC$, daher ist auch $P : Q = AB : BC$, mithin verhält sich die Kraft zur Last wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge.

Setzt man an die Stelle der schiefen Ebene eine krumme Fläche, so ist zum Gleichgewichte zwischen Kraft und Last erforderlich, daß die Resultirende beider auf der Fläche normal einwirke, mithin die Richtung derselben auf einer tangirenden Ebene der Fläche im Berührungspunkte senkrecht stehe. Dieser Fall reducirt sich hiedurch auf jenen der schiefen Ebene.

113. Zur Erörterung der Theorie der Schraube ist es nöthig, sie auf eine schiefe Ebene zurückzuführen, und zu diesem Zwecke die Art, wie man sich eine Schraube entstanden denken kann, nebst der Methode, zu einer Schraubenlinie eine Tangente zu ziehen, vorläufig anzugeben. Um von der Entstehung einer Schraube eine richtige Ansicht zu fassen, sey AB (Fig. 33) ein gerader Cylinder, dessen Axe, der Deutlichkeit wegen, vertical stehen mag. Man denke sich ein Rechteck abdc, dessen Basis bd dem Umfange, und dessen Höhe ab der Höhe des Cylinders gleich ist, theile ab in eine beliebige Anzahl gleicher Theile ae, ef, fg, gh, hb, ziehe durch die Theilungspunkte die mit bd Parallelen ee′, ff′, gg′, hh′ und die Diagonalen ec′,

fe', gf', hg', bh'. Wird nun das Rechteck abdc um den Cylinder gewickelt, so entsteht aus den geraden Diagonalen eine Schraubenlinie. Ein Stück wie ec bildet einen Schraubengang und ae den Abstand der Schraubengänge. Der Cylinder AB heißt nun Schraubencylinder, und wenn sich an ihm Hervorragungen nach der Richtung der Schraubenlinie herumziehen, eine **Schraube**, wohl auch eine **Schraubenspindel**; sind aber die Schraubengänge an einer cylindrischen Höhlung eines Körpers eingeschnitten, so nennt man ihn **Schraubenmutter**. — Denkt man sich eine Ebene CD (Fig. 34), welche den Schraubencylinder in der geraden Linie mn berührt, die mit ab gleichlaufend ist; so entstehen durch Abwicklung der Cylinderfläche auf diese Ebene lauter gerade Linien, die mit mn denselben Winkel machen, welchen die Diagonalen ec, fe' rc. mit ab bilden, und jede dieser Linien wird eine Tangente ihres Schraubenganges. Man kann daher zu einem Punkte o der Schraubenlinie eine Tangente ziehen, wenn man in CD ein rechtwinkeliges Dreieck pqr beschreibt, dessen mit mn parallele Höhe pq dem Abstande zweier Schraubengänge, dessen Basis qr dem Umfange des Schraubencylinders gleich ist, und dessen Hypotenuse pr durch den Punkt o geht.

114. Es seyen MoN, Fig. 35, die Schraubengänge einer vertical stehenden Schraube, deren Axe AB ist, und man suche das statische Verhältniß zwischen der Last Q und der am Umfange des Cylinders horizontal wirkenden Kraft P, in der Voraussetzung, daß keine Reibung vorhanden sey, und daß der Cylinder die Schraubenmutter nur im Punkte o berühre. Die Last Q wirkt in o vertical abwärts, und weil die Kraft P dasselbe Moment in Beziehung auf die Axe AB hat, sie mag auf was immer für einen Punkt am Umfange des Schraubencylinders wirken, so kann man sie auch nach o versetzt denken. Es wirken daher beide Kräfte auf o, und die eine hat zu verhindern, daß der Punkt o nicht längs der Schraubenlinie hinabgleite. Da es aber hier bloß um die Verhinderung des Anfangs der Bewegung zu thun ist, so muß P nur verhindern, daß o nicht längs der Tangente bc, d. i. über die schiefe Gerade abwärts gehe. Da ist aber (112) $P:Q=bd:dc$; mithin verhält sich bei der Schraube im Gleichgewichte die Kraft zur Last, wie der Abstand zweier Schraubengänge zum Umfange des Schraubencylinders. — Ist die Schraube mit mehreren Punkten o, o', o'' der Schraubenmutter in Berührung; so wird die ganze Last Q in eben so viele Theile q, q', q'' zertheilt, wovon q auf o, q' auf o', q'' auf o'' wirkt, und wo $q+q'+q''=Q$ ist. Ist p die Kraft, welche der q, p' diejenige, welche der q' das Gleichgewicht hält u. s. f., so hat man

$$p : q = bd : dc$$
$$p' : q' = bd : dc$$
$$p'' : q'' = bd : dc, \text{ mithin}$$

$p + p' + p'' : q + q' + q'' = bd : dc$ oder wie vorhin.

$$P : Q = bd : dc.$$

115. Ein Keil ist ein dreiseitiges Prisma (Fig. 36), das mit seinen Seitenflächen, z. B. mit AD und ED zwischen zwei Körper hineingetrieben wird, um sie zu trennen. Stellt ABC (Fig. 37) einen auf die Kante AB (Fig. 36) senkrechten Durchschnitt des Keils vor, auf dessen Seite AC die Kraft P senkrecht wirket, während auf die Seiten AB und BC (Fig. 37) die Last so vertheilt ist, daß davon auf AB der Theil q, und auf CB der Theil q' wirket; so sey DE die Richtung der Kraft P, und Dy auf AB, Dz auf BC senkrecht. Fällt man nun aus E auf Dy und Dz die Senkrechten EF und EG und zieht FG, so ist $P:q:q' = FG:EG:EF$. Aber die Dreiecke EFG, ABC sind ähnlich, denn es ist der Winkel

$$FGE = FDE = CAB \text{ und } FEG = CBA, \text{ daher ist}$$

$$FG : EG : EF = AC : AB : CB, \text{ mithin}$$

$$P : q : q' = AC : AB : CB.$$

116. Aus diesen einfachen Maschinen besteht die unendliche Anzahl zusammengesetzter Vorrichtungen, deren man sich zu den mannigfaltigsten Zwecken bedient. Die Zusammensetzung geschieht auf zweierlei Art, entweder wirkt da eine Maschine mit der anderen, oder mittelst der anderen. Als Beispiel der ersten Art kann der gemeine Flaschenzug gelten, den Fig. 38 vorstellt. Ist daselbst die Kraft P am freien Strickende, die Last Q an der unteren Flasche angebracht, so ist es klar, daß alle Stricke gleich stark gespannt seyn müssen, wenn P mit Q im Gleichgewichte seyn soll, und daß daher bei n Stricken seyn muß $P = \frac{Q}{n}$.

Bei zusammengesetzten Maschinen der zweiten Art ist die Last der ersten Bestandmaschine, auf welche nämlich die Kraft P unmittelbar wirket, die Kraft bei der zweiten; die Last an dieser die Kraft an der dritten u. s. w. Heißt daher $a:b$ das Verhältniß der Kraft zur Last bei der ersten Maschine, wenn sie im Gleichgewichte ist, eben so $a':b'$, $a'':b''$, $a''':b'''$ bei der zweiten, dritten und vierten, Q die Last bei der letzten, x die Last der ersten, x', x'', x''' die der zweiten, dritten, vierten; so wird

$$\begin{aligned} P : x &= a : b \\ x : x' &= a' : b' \\ x' : x'' &= a'' : b'' \\ x'' : Q &= a''' : b''', \text{ mithin} \\ \hline P : Q &= a\,a'\,a''\,a''' : b\,b'\,b''\,b''' \end{aligned}$$

Es ist daher das Verhältniß der Kraft zur Last aus den einfachen Verhältnissen der Bestandmaschinen zusammengesetzt.

Alle hier angeführten Gesetze des Gleichgewichtes sind nur besondere Fälle eines allgemeinen Princips, welches das Princip der virtuellen Geschwindigkeiten genannt wird und so lautet: Wenn ein System von so viel Körpern oder Punkten, als man will, wovon jeder durch Kräfte afficirt wird, im Gleichgewichte steht, und man ertheilt dem Systeme eine unendlich kleine, mit der Beschaffenheit desselben verträgliche Bewegung, vermög welcher jeder Punkt des Systems einen unendlich kleinen Weg zurücklegt; so ist die Summe aus den Producten jeder

Kraft in den Weg, den ihr Angriffspunkt nach der Richtung der Kraft beschreibt, gleich Null, vorausgesetzt, daß man die Wege, welche nach entgegengesetzten Richtungen beschrieben werden, durch + und — unterscheidet.

Viertes Kapitel.

Gleichgewicht der Theile fester Körper unter einander (Theorie der Cohärenz).

117. Es ist bereits (28, 29) dargethan, daß jeder Körper aus ungemein kleinen Theilchen (Molekeln) besteht, die zwar einander sehr nahe liegen, aber sich doch nicht berühren und von mehreren Kräften beherrscht werden. Eine derselben ist die schon erörterte, von jeder materiellen Verschiedenheit unabhängige, in unermeßliche Ferne wirkende Anziehungskraft, die der anziehenden Masse direct, dem Quadrate der Entfernung verkehrt proportionirt und von der Natur der Molekel unabhängig ist; eine andere, um die es sich hier handelt, wirkt theils anziehend, theils abstoßend (38) und ist von der Natur der Molekel abhängig. Ihre Stärke nimmt sehr schnell ab, wenn die Entfernung der Molekel wächst, und verschwindet in kaum merklicher Entfernung derselben; der anziehende Theil gehört ohne Zweifel der Materie an, der abstoßende wird von denen, welche die Wärme als etwas Materielles ansehen, derselben zugeschrieben. Die Resultirende dieser beiden Kräfte heißt Molekularkraft, und diese ist es, welche den Aggregationszustand der Körper bestimmt. Für feste Körper, von denen hier die Rede seyn soll, wirkt sie anziehend (als Cohärenzkraft), und begründet die Stärke und Art des Zusammenhanges der Theile, so wie die Gestalt, welche das Ganze annimmt. Die Gesetze, nach denen sie wirkt, lassen sich nur durch Erfahrung ausmitteln, und dazu liefert das Folgende das Materiale.

A. Krystallisation der Körper.

118. In der ganzen Natur ist das Bestreben der kleinsten Theile, sich zu einem symmetrisch geformten Ganzen zu vereinigen, unverkennbar, und diesem gemäß zeigen auch sowohl die organischen als unorganischen Körper, wenn sie sich ungestört bilden konnten, eine auffallende Symmetrie ihres Baues; nur unterscheiden sich beide Naturreiche dadurch von einander, daß in ersterem die runden, in letzterem die eckigen Formen vorwalten. Die Körper des Mineralreiches, welche eine in allen Theilen gleichartige Materie in einem Raume enthalten, der von ursprünglich vorhandenen ebenen, zu einer symmetrischen Form verbundenen Flächen begrenzt wird, heißen Krystalle. Die Natur liefert uns unzählige Körper dieser Art; an manchem erkennt man die Symmetrie seines Baues nur darum nicht, weil er ein Aggregat von sehr kleinen, regelmäßig gebildeten Theilen oder ein Bruchstück eines größeren Krystalls ist. Nur ein Krystall ist unter den unorga-

mischen Körpern ein in naturhistorischer Hinsicht für sich bestehendes Ganzes, ein Individuum.

119. Soll ein Stoff krystallisiren, so ist nothwendig, daß seine kleinsten Theile ihrer innern Kraft ungehindert folgen können. Dieses findet aber nur dann Statt, wenn er flüssig ist. Darum muß man feste Körper, die man krystallisiren will, vorläufig durch ein Auflösungsmittel oder durch Erwärmen tropfbar oder ausdehnsam machen. So werden zum Behufe der Krystallbildung Salze im Wasser, Schwefel im Schwefelkohlenstoff aufgelöset, Metalle ꝛc. geschmolzen, Benzoesäure, Jod ꝛc. verflüchtiget. Um nun wieder den festen aber krystallinischen Zustand herzustellen, sucht man die Theile des krystallisirbaren Stoffes einander so nahe zu bringen, daß die Cohäsionskraft mit der nöthigen Stärke zu wirken anfängt. Dieses bewirkt man: 1) durch langsames Abkühlen. Durch dieses Mittel krystallisiren geschmolzener Schwefel, Metalle ꝛc. Bei Auflösungen ist es nur dann wirksam, wenn das Auflösungsmittel von dem krystallisirbaren Stoffe bei höherer Temperatur mehr aufzunehmen vermag, als bei niederer. Eines der merkwürdigsten hieher gehörigen Beispiele führt Marx (Schweiggers J. 52. 351) vom essigsauren Natrum an. Wird dieses in einem großen Platinlöffel über einer Weingeistlampe geschmolzen, und hierauf von der Lampe weggenommen; so trennt sich plötzlich die Flüssigkeit von den Wänden des Löffels, zieht sich zusammen und wird fest. Sobald sich aber die Oberfläche mit einer Haut überzogen hat, brechen aus dem Innern Krystalle hervor und wachsen schnell auswärts. 2) Durch Verflüchtigung des Auflösungsmittels mittelst der Wärme. Auf diese Weise krystallisirt Kochsalz, Salpeter ꝛc. 3) Durch Zusatz eines Stoffes, der das Auflösungsmittel bindet, oder auf andere Weise eine Zersetzung bewirket. So bekommt man aus einer wässerigen Auflösung des schwefelsauren Kupferoxydes durch Zusatz von Weingeist Krystalle; auch die Ausscheidung der Stoffe in Krystallform durch Elektricität gehört hieher. 4) Durch starkes Comprimiren der Flüssigkeit. Auf diesem Wege hat Perkins aus der flüssigen Essigsäure schöne Krystalle erhalten. — Welches von diesen Mitteln immer gewählt werden mag oder muß, so darf es doch nie schnell wirken, weil sonst die auf einmal in zu großer Menge fest werdenden Theile sich gegenseitig hindern, eine regelmäßige Form anzunehmen, und das Ganze wohl ein Aggregat kleiner Krystalle ist, diese aber zu einem ganz unsymmetrischen Klumpen zusammengewachsen sind.

Da diese Mittel nicht auf jeden Stoff gleich stark oder gleich schnell wirken, so kann man sich ihrer bedienen, um aus einer Mischung mehrerer Stoffe einen oder den anderen auszuscheiden. So trennt man das Digestivsalz vom Salpeter aus einer Lösung, worin beide enthalten sind, bei der gewöhnlichen Salpeterbereitung durch bloßes Abkühlen der Masse, weil ersteres später krystallisirt als letzterer.

120. Die Bildung der Krystalle kann durch gewisse Umstände ausnehmend erleichtert werden. Ist eine Flüssigkeit schon nahe daran, Krystalle zu liefern, so ist dem Anschießen derselben oft ein schwacher

Stoß sehr förderlich. Es scheint, als wenn durch eine solche Erschütterung die kleinsten Theile in den Stand gesetzt würden, sich von Hindernissen los zu machen und der Cohärenzkraft zu folgen. Ein anderes Beförderungsmittel ist die Berührung des krystallisirbaren Stoffes mit einem festen Körper oder auch nur mit der Luft. So gibt eine krystallrechte Lauge immer an den Wänden des Gefäßes und an der Oberfläche, wo sie die Luft berührt, die ersten Krystalle; Hineinstellen von Stäben, Schnüren rc. beschleunigt darum die Krystallbildung. Besonders wirksam ist die Berührung der krystallrechten Flüssigkeit mit einem Krystall derselben Natur, wie man sie beabsichtiget. Legt man in eine Kochsalzlösung einen Salzkrystall, so sieht man ihn schnell wachsen, wenn man auch vorher in der Flüssigkeit noch nichts von einer anfangenden Krystallisation bemerken konnte. Nimmt man einen solchen Krystall heraus, bricht davon ein Stück ab, und legt ihn wieder an seinen vorigen Platz, so wird das abgerissene Stück wieder völlig ersetzt. Gibt man in eine Lösung von 3 Th. Glaubersalz und 2 Th. Salpeter in lauem Wasser einen Salpeterkrystall, so schießt bloß Salpeter an, thut man aber dasselbe mit einem Glaubersalzkrystall, so erfolgt bloß das Krystallisiren des Glaubersalzes. Legt man in eine Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd und schwefelsaurem Zinkoxyd einen Eisenvitriolkrystall, so vergrößert sich dieser Krystall durch die Masse der Auflösung, ohne Aenderung seiner Gestalt; legt man den vergrößerten Krystall wieder in eine Eisenvitriollösung, so vergrößert er sich auf dieselbe Weise in dieser, und man kann durch Wiederholen dieses Verfahrens einen Krystall erhalten, der aus abwechselnden, parallelen Schichten von grünlichem Eisenvitriol und schwefelsaurem Zinkkupferoxyd besteht. Vielleicht gehört auch das von Brewster erzählte merkwürdige Factum hieher, daß ein Tropfen einer in Schwerspath eingeschlossen gewesenen Flüssigkeit, nach dem Herausnehmen zu einem Krystall erstarrte, ohne daß man es einer Verdünstung der Flüssigkeit zuschreiben konnte, so wie die Erfahrung Wackernagl's, der bemerkt hat, daß sich Krystalle, die mit Firniß überzogen sind, in ihrer Lauge noch merklich vergrößern, woraus er den Schluß ziehen will, die Cohärenzkraft wirke auf eine merkliche Entfernung. Das Effloresciren, vermög welchem sich weit über der Oberfläche der Flüssigkeit an den Gefäßwänden feine Krystalle bilden, wie dieses vorzüglich beim Salpeter bemerklich ist, läßt sich auch hieraus erklären.

Die schon gebildeten Krystalle lassen sich durch eigene Verfahrungsweisen rein erhalten oder auch vergrößern. Beim Krystallisiren des Schwefels oder der Metalle thut man gut, wenn man die obere, feste Haut der gestehenden Masse durchbricht, und die darunter befindliche Flüssigkeit abgießt, damit die schon gebildeten Krystalle nicht durch andere unkenntlich gemacht werden. Leblanc lehrt Salzkrystalle von jeder Größe erzeugen. Er empfiehlt die gehörig abgedampfte Lauge ruhig erkalten zu lassen, den Rest von den schon gebildeten Krystallen in eine flache Schale abzugießen, und die Bildung neuer Krystalle abzuwarten. Von diesen soll man die schönsten auswählen, sie in ein anderes flaches Gefäß neben einander legen, jedoch so, daß keine Berührung unter ihnen eintreten kann, und die neuerdings krystallrecht gemachte Lauge darüber gießen, jeden Krystall wenigstens täglich ein-

mal umlegen, und dieses Verfahren so oft wiederholen, als sich die Lauge noch krystallrecht machen läßt, oder bis die Krystalle groß genug sind. Ein anderes Verfahren, aus kleineren Krystallen größere zu erhalten, besteht darin, diese Krystalle mit ihrer Lauge an einen Ort zu bringen, wo sie einem Temperaturwechsel ausgesetzt sind. Hat die Lauge in der Wärme ein größeres Auflösungsvermögen als in der Kälte, so wird bei jedem Steigen der Temperatur etwas von den Krystallen aufgelöset; aber weil die kleineren im Verhältniß zu ihrer Masse eine größere Oberfläche haben, als die größeren, so werden auch jene mehr verlieren als diese, während doch beim Sinken der Temperatur alle Krystalle nur gleichen Zuwachs erhalten. Daher werden nach und nach alle kleineren Krystalle verschwinden, und somit wenige, aber desto größere zum Vorschein kommen. (Zeitschr. 3. 392. Pogg. Ann. 11. 323.)

121. Krystalle können durch ihre mathematischen und physikalischen Eigenschaften ein Gegenstand der Betrachtung werden. Zu ersteren gehört die Form und Struktur, zu letzteren Härte, Glanz ꝛc. der Flächen, Kanten oder Ecken. Die Form des Krystalls heißt seine Krystallgestalt, die sie begrenzenden Flächen heißen Krystallflächen. Die Gestalt wird nach der Anzahl, Figur und Lage dieser Flächen benannt. Man betrachtet letztere als Ebenen, wenn sie auch dem Begriffe einer Ebene nicht völlig entsprechen, und setzt die Abweichungen von den Eigenschaften einer Ebene auf Rechnung zufälliger Störungen beim Bildungsprozesse. Dasselbe gilt von den Kanten und Ecken, wovon jene als gerade Linien, diese als Körperwinkel angesehen werden, wiewohl sie nur selten genau von dieser Art sind. Die Mittelpunkte der Kanten und Flächen und die Ecken sind die Hauptpunkte eines Krystalls, und eine gerade Linie, welche durch solche Punkte und durch den Mittelpunkt der Gestalt geht, heißt eine Axe desselben. Man unterscheidet mehrere Arten von Axen, nach Beschaffenheit der Hauptpunkte, durch die sie gehen. Jeder Krystall hat mehrere Axen, die meisten Krystalle haben sogar mehrere derselben Art. So sind z. B. in einem Hexaeder (Würfel) die durch zwei gegenüberstehende Ecken gehenden Axen anderer Art, als die durch zwei gegenüberstehende Kantenmittelpunkte gehenden, und diese wieder von anderer Art, als die durch Flächenmittelpunkte gezogenen. Von ersteren hat diese Krystallgestalt vier, von den zweiten sechs, von den letzteren drei. Eine Axe von solcher Lage, daß die darauf senkrechten Schnitte regelmäßige Figuren sind, oder die Einzeichnung solcher gestatten, heißt Hauptaxe, widrigenfalls Nebenaxe. Krystalle, die nur Eine Hauptaxe haben, heißen einaxig; solche, die deren mehrere haben, vielaxig. Das Hexaeder ist demnach eine vielaxige Gestalt.

122. Einige Krystallgestalten sind von ähnlichen, gleichen und gleichliegenden Flächen begrenzt. Diese heißen einfache Gestalten; sie stimmen mehr oder weniger mit den symmetrischen Körpern der Geometrie überein, und alle ihre Flächen gehören zu einer einzigen geometrischen Gestalt, wie z. B. das Hexaeder, das Octaeder, das Rhomboeder, die vierseitige, gleichseitige oder ungleichseitige Pyramide. Andere Gestalten haben ungleiche oder ungleichliegende Flächen zur Be-

grenzung, und heißen, wenn diese symmetrisch angeordnet sind, **Combinationen**; ihre Flächen gehören zu mehreren einfachen Gestalten. Eine Combination besteht demnach aus einfachen Gestalten; so z. B. ist die Gestalt Fig. 39 von Hexaeder- und Octaederflächen begrenzt, sie stellt gleichsam einen Würfel vor, von dem die Ecken abgeschnitten sind. Denkt man sich die durch Wegnahme der Ecken entstandenen Flächen so weit vergrößert, daß die Würfelflächen verschwinden, so kommt das Octaeder wirklich zum Vorschein. Von den Combinationen sind bloße Aggregate von Krystallen wohl zu unterscheiden, die durch Zusammenwachsen zweier oder mehrerer Flächen entstehen, und oft sogar regelmäßig oder symmetrisch aussehen, häufig mit Natur- oder Kunstgegenständen die größte Aehnlichkeit haben, und auch nach solchen benannt werden. Von der Art sind die baumartigen, staudenartigen, haarförmigen, zähnigen, drahtförmigen, gestrickten Gestalten, die Bleche und Blättchen, Kugeln, Nieren, Trauben rc., wie sie uns viele Körper zeigen. Oft sind die einzelnen Individuen, aus denen ein solches Aggregat besteht, zu klein, als daß sie mit freiem Auge wahrgenommen werden könnten, nicht selten reicht auch das bewaffnete Auge nicht aus, und man kann nur aus dem gleichzeitigen Vorkommen ähnlicher Stücke mit deutlicherer Zusammensetzung oder aus dem successiven Kleinerwerden der Individuen in demselben Stücke auf die Art ihrer Zusammensetzung schließen. Kein Wunder, daß solche Körper oft weder Regelmäßigkeit noch Symmetrie zeigen, und doch liegen der Bildung ihrer Zusammensetzungsstücke dieselben Gesetze zum Grunde, unter deren Herrschaft die schönsten Krystallgestalten entstehen.

Selbst vollkommene Krystalle entfernen sich oft von der strengen Symmetrie, und es sind oft einzelne Flächen auf Kosten der anderen bedeutend vergrößert, und selbst an den Winkeln Abweichungen von den durch die Geometrie bestimmten Größen bemerkbar. Wenn man daher von der geometrischen Regelmäßigkeit und Symmetrie der Krystalle spricht, so meint man damit jenen Zustand, dem sich die meisten nur mehr oder weniger nähern und den nur wenige ganz erreichen.

123 Daß sich alle zusammengesetzten Gestalten, sie mögen nun Combinationen oder regellose Zusammensetzungen seyn, auf einfache zurückführen lassen, ist klar; es gibt aber selbst unter den einfachen Gestalten einen solchen Zusammenhang, daß man alle solche aus einer geringen Anzahl derselben durch ein bestimmtes Verfahren entstehen lassen, d. h. **ableiten** kann. Dazu gibt uns die Natur selbst den Fingerzeig, indem sie manche Gestalten mit einander combinirt hervorbringt, andere aber nicht, und so andeutet, es herrsche zwischen ersteren eine besondere Relation, die zwischen letzteren fehlt. Man nennt die Gestalt, aus der man andere ableitet, die aber selbst von keiner anderen abgeleitet wird, die **Grundgestalt**. Die Art der Ableitung darf nicht willkürlich, sondern muß von der Natur selbst durch die in ihr vorkommenden Combinationen an die Hand gegeben seyn. Der Inbegriff aller aus einer Grundgestalt von bestimmten Abmessungen (wenn selbe hierin, abgesehen von der Größe, Verschiedenheiten zuläßt) ab-

geleiteten Gestalten macht eine Krystallreihe aus, und der Inbegriff sämmtlicher Krystallreihen, welche aus gleichartigen, d. h. nur in den Abmessungen verschiedenen Grundgestalten entspringen, heißt ein Krystallsystem. Zur Grundgestalt wählt man stets die einfachste und zur Ableitung der übrigen Gestalten schicklichste einer Krystallreihe. In sofern man die Abmessungen der Grundgestalt unbestimmt läßt, betrachtet man sie als die Grundlage des Krystallsystems, wozu sie gehört, und benennt dieses nach ihr.

In Betreff der Grundgestalten und der davon herrührenden Krystallsysteme weichen die einzelnen Krystallographen von einander ab, wahrscheinlich, weil manche die Ableitung für etwas von aller Erfahrung Unabhängiges, durch bloße Begriffe zu Erörterndes ansehen. Mohs, der unseres Erachtens der Natur am getreuesten bleibt, nimmt sieben Grundgestalten an, woraus auch eben so viele Krystallsysteme hervorgehen: 1) das Hexaeder; 2) das Rhomboeder; 3) die gleichkantige vierseitige Pyramide; 4) das Orthotyp (gerade, ungleichkantige, vierseitige Pyramide); 5) das Hemiorthotyp (schiefe, ungleichkantige, vierseitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in der Ebene einer Diagonale); 6) das Hemianorthotyp (schiefe, ungleichkantige, vierseitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in der Ebene beider Diagonalen); 7) das Anorthotyp (schiefe ungleichkantige, vierseitige Pyramide, mit Abweichung der Axe in der Ebene schief auf einander stehenden Diagonalen). Die daraus hervorgehenden Krystallsysteme heißen in der Ordnung der angeführten Grundgestalten: 1) das tessularische; 2) das rhomboedrische; 3) das pyramidale; 4) das orthotype; 5) das hemiorthotype; 6) das hemianorthotype; 7) das anorthotype. Das erste dieser Systeme umfaßt alle vielaxigen Gestalten, die übrigen alle einaxigen. Weiß und Naumann nehmen 6 Krystallsysteme an. Sie heißen nach ersterem: 1) das reguläre; 2) das zwei- und einaxige; 3) das drei- und einaxige; 4) das ein- und einaxige; 5) das zwei- und eingliedrige und 6) das ein- und eingliedrige. Dieselben Systeme haben bei Naumann folgende Benennungen: 1) das isometrische; 2) das monodimetrische; 3) das monotrimetrische; 4) das anisometrische; 5) das monoklinometrische und 6) das triklinometrische. Die ersten drei Systeme Weiß's und Naumann's fallen mit den ersten von Mohs völlig zusammen.

124. Mit der äußeren, regelmäßigen oder symmetrischen Gestalt der Krystalle steht auch eine große Regelmäßigkeit der Structur in Verbindung. Es lassen sich nämlich die meisten krystallisirten Körper, selbst wenn sie nur Bruchstücke ganzer Krystalle sind, nach gewissen Richtungen so theilen (spalten), daß man lauter ebene Theilungsflächen bekommt; man nennt diese Richtungen den Blätterdurchgang. Solcher Durchgänge gibt es in demselben Körper wenigstens drei, oft mehrere, doch läßt sich nicht nach jedem die Theilung mit gleicher Leichtigkeit vornehmen; einige Körper gestatten dieses überhaupt nur sehr schwer, und man erkennt den Blätterdurchgang nur aus feinen Streifen oder Sprüngen, manchmal sogar nur durch ein besonderes Verhalten gegen das Licht. Wenn man einen Krystall nach verschiedenen Blätterdurchgängen spaltet, erhält man auch verschiedene Theilungsgestalten; verrichtet man aber die Theilung nach den deutlichsten Durchgängen, bis von den äußeren Flächen nichts mehr übrig ist, so erhält

man eine symmetrische, oft sogar regelmäßige Gestalt, welche Haüy, der den Werth und die Eigenthümlichkeiten der Theilungsverhältnisse überhaupt zuerst kennen lehrte, Kerngestalt (forme primitive) nennt, während er die Gestalt des ganzen Krystalls abgeleitete Gestalt (forme secondaire) heißt. Fährt man fort, den Kern sowohl als die abgenommenen Blätter weiter zu spalten, so erhält man lauter kleine, symmetrische Körperchen, die sich an Gestalt durchaus gleichen. Haüy nennt sie Ergänzungstheilchen (molécules intégrantes). Man braucht sich nicht mit der wirklichen Theilung zu befassen, sondern kann die Gestalt solcher Körperchen aus dem Kerne und der Richtung der Blätterdurchgänge erkennen. So z. B. ist es leicht einzusehen, daß bei einem Hexaeder, einen Rhomboidaldodekaeder und einem sechsseitigen Prisma, deren Blätterdurchgänge mit den Flächen des Kernes gleichlaufend sind, die Ergänzungstheilchen die Gestalt eines Parallelepipedums, eines Tetraeders und eines dreiseitigen Prisma's haben müssen.

Als Beispiel einer hieher gehörigen Untersuchung mag die Spaltung eines Kalkspathes dienen, der in der Form einer sechsseitigen Säule erscheint, wie Fig. 40 zeigt. Setzt man in a b parallel mit A B ein Messer an, und drückt darauf, so springt ein Stück a b c d weg. Dasselbe geschieht, wenn man das Messer parallel mit D F oder C E ansetzt, nicht aber in Richtungen, die mit A C, B D oder E F gleichlaufend sind. Unten wird gerade das Gegentheil Statt finden; da wird man parallel mit H K, L M, I G mit Erfolg die Spaltung versuchen, nicht aber in Richtungen, die mit G H, K M, L I gleichlaufend sind. Wenn man so mit der Spaltung fortfährt, kommt man auf eine rhomboedrische Kerngestalt. Daß eine solche Spaltung nicht bei jedem Krystalle ausführbar sey, kann man wohl leicht begreifen; sie ist auch zur Kenntniß der Kerngestalt nicht unumgänglich nöthig; denn wenn man an irgend einem Krystalle die Richtung der Spaltungsebenen durch Messung bestimmt, so kann man mittelst Rechnung die Gestalt des Kernes finden, der übrig bliebe, wenn die Blätter nach diesen Richtungen weggenommen würden.

Man kennt bis jetzt sechs Kerngestalten, nämlich: 1) das Tetraeder; 2) das Parallelepiped; 3) das Octaeder (worunter Haüy nebst dem regelmäßigen, auch noch jede vierseitige Pyramide versteht); 4) das regelmäßige sechsseitige Prisma; 5) das Dodekaeder mit vierseitigen Flächen; 6) das Triangulardodekaeder. Ueber die Anzahl und Gestalt der Ergänzungstheilchen ist man nicht durchaus einerlei Meinung. Einige nehmen bloß sphärische Ergänzungstheilchen an, andere polyedrische. Haüy betrachtet das Parallelepiped, das Tetraeder und die dreiseitige Säule als solche, weil diese Körper von der möglichst geringsten Anzahl von Flächen begrenzt sind, durch welche überhaupt ein Raum eingeschlossen werden kann, und zur Bildung aller Formen hinreichen. Aus diesen Theilchen läßt er die Krystalle dadurch entstehen, daß sie sich reihenweise an einander legen. Die große Verschiedenheit der Krystallgestalten bei einer so geringen Anzahl von verschiedenen Elementen, aus denen sie bestehen, leitet er daraus her, daß die Schichten stufenweise abnehmen, so wie sie sich von der Kerngestalt entfernen, und zwar entweder bloß an den Ecken oder an den Kanten oder in einer Zwischenlage. Man kann sich dieses am besten durch Modelle versinnlichen. (Seeber in Gilb. Ann. 76. 229. Untersuchungen über die Formen der unorganischen Natur, von Hausmann. Gött. 1822.)

125. Krystallisirte Körper weichen oft in ihren physischen Eigenschaften von unkrystallisirten Stoffen derselben Natur sehr stark ab, wovon der Grund darin liegt, daß bei ersteren die Cohärenzkraft frei wirken kann, während sie bei letzteren durch äußere Umstände beschränkt wird. Die meisten Körper werden durch Krystallisiren spröder und härter; es ist aber eine Krystallfläche nicht an allen Stellen gleich hart, sondern man bemerkt nach verschiedenen Richtungen derselben Fläche Härteunterschiede, noch größere aber an verschiedenen Flächen desselben Krystalls, und es scheinen diese Unterschiede mit der Lage der betreffenden Fläche gegen die Axen der Krystallgestalt in genauer Verbindung zu stehen. (Frankenheim in Zeitsch. 9; 94, 194 und 332.) Der Kohlenstoff und die Thonerde erlangen durch das Krystallisiren eine unglaubliche Härte, wie man dieses am Diamant und am Saphir sieht. Undurchsichtige Stoffe werden durch Krystallisiren oft durchsichtig, wie die meisten Edelsteine darthun, andere werden dadurch undurchsichtig, wie z. B. der Phosphor. Krystallisirte Stoffe werden durch ihre größere Härte geeignet, chemischen Kräften stärker zu widerstehen, als unkrystallisirte. Darauf beruht die Bereitung des Metallatlasses (moirê métallique), das Damasciren des Stahls, die Eigenschaft des Meteorstahls durch ein Aetzmittel strahlige Zeichnungen anzunehmen. Beim Schmelzen des Eises bleiben die zuerst entstandenen regelmäßigen Eisnadeln am längsten fest. Viele Stoffe nehmen beim Krystallisiren Wasser auf, und verbinden sich mit demselben chemisch. Man nennt es Krystallisationswasser. Dieses verlieren manche wieder in der Luft, und büßen dadurch zugleich ihre Gestalt ein (verwittern), während andere noch mehr aus der Luft aufnehmen und zerfließen. Gegen beides kann man sie schützen, indem man sie in ein verschlossenes Gefäß gibt, worin sich etwas Terpentinöhl befindet, das verdünstet, und so eine eigene Atmosphäre um den Krystall bildet. Beim Erhitzen schmelzen Krystalle, welche viel Krystallisationswasser enthalten. Manche Stoffe nehmen beim Krystallisiren tropfbares Wasser, einen Theil der Mutterlauge oder auch andere Flüssigkeiten, ja sogar Gase auf. So findet man oft in Bergkrystallen Wassertropfen.

Brewster hat in Topasen, Amethisten rc. sehr viele Höhlungen (In einem Stück Cymophan von 1/7 Q. Zoll Fläche fand er deren 30,000) entdeckt, die mit eigenen Flüssigkeiten angefüllt waren; selbst mitten im Eis fand er Wassertropfen. (Zeitsch. 1. 414.) Nach Dumas enthält das sogenannte Knistersalz, wie man es in Wieliczka, Hallstadt rc. findet, Wasserstoffgas und das Freiwerden desselben verursacht das beim Auflösen dieses Salzes im Wasser bemerkbare Knistern. In Flußspathen fand Nicol Luft und zugleich eine tropfbare Flüssigkeit eingeschlossen, die im Freien Flußspathkrystalle absetzte; mit Schwerspath erfolgte dasselbe (Zeitsch. 5. 107.); die in Bläschen von Kochsalzkrystallen enthaltene Flüssigkeit liefert aber kein Kochsalz, sondern enthält salzsaure Bittererde. (Zeitsch. 7. 238.)

126. Der Zusammenhang zwischen der Krystallgestalt und der materiellen Beschaffenheit der Körper läßt

sich bei dem gegenwärtigen Stande der Dinge nur aus der Erfahrung entnehmen. Diese lehrt, daß derselbe Stoff in verschiedenen, sowohl einfachen als Combinationsgestalten krystallisiren könne, doch gehören diese Gestalten meistens, aber nicht immer, zu derselben Grundform, mithin in dasselbe Krystallsystem. Im Allgemeinen hängt die Krystallgestalt nicht, wie Haüy meint, von der materiellen Beschaffenheit der sich zu einem Krystall verbindenden Theilchen, sondern von der Anzahl und Verbindungsweise der Atome ab, es können die Atome a, b, c dieselbe Krystallgestalt hervorbringen, wie die von ihnen ganz verschiedenen d, e, f, und zwei Stoffe können, zu einem Körper verbunden, in verschiedenen Krystallformen erscheinen.

So z. B. krystallisirt Zinkvitriol wie Kupfervitriol, wenn man ihm 1/8 des letzteren zusetzt, und dadurch den Wassergehalt beider einander gleich macht; Phosphorsäure gibt mit jeder Basis dieselben Krystalle, und es läßt sich eine Basis eines phosphorsauren Salzes durch eine andere ohne Störung der Krystallgestalt ersetzen. Mancher Stoff krystallisirt bloß darum bei verschiedenen Temperaturen verschieden, weil er eine verschiedene Wassermenge in seine Mischung aufnimmt, und sich die Anzahl der sich verbindenden Atome nach der Temperatur richtet; mancher Stoff hat darum eine so große Fähigkeit, anderen in der geringsten Menge beigemischt, seine Krystallgestalt aufzudringen, weil er schon in einer geringen Quantität eine mit seiner natürlichen Mischung gleiche Atomenzahl hervorbringt. — Von einer Aenderung der Verbindungsweise der Atome hängen auch jene Umbildungen ab, die manche Krystalle erleiden, ohne vorher in den flüssigen Zustand überzugehen, und welche deutlich beweisen, daß in einigen Fällen schon die an der Elasticität der Körper erkennbare Verschiebbarkeit der Theile zur Krystallisirung hinreiche, besonders wenn sie durch eine Temperaturerhöhung begünstigt wird. Kocht man z. B. einen Kupfer- oder Zinkvitriolkrystall langsam in Alkohol, so wird er matt, behält jedoch seine Form bei; zerbricht man ihn aber, so zeigt er im Innern unzählige, neugebildete Krystalle, die von der Form des Ganzen abweichen. Krystalle von schwefels. Salzen, die bei mittlerer Luftwärme entstanden sind, zeigen, wenn sie einige Zeit dem Sonnenlichte ausgesetzt waren, nach dem Zerbrechen, im Innern neu gebildete Krystalle. Siehe Mitscherlich in Pogg. Ann. 11. 323; 12. 137; 17. 385. Haidinger in Pogg. Ann. 6. 191; 11. 173, 366. Vergleiche hiemit Schweigg. J. 49. 245; 51. 163; 54. 205, 358.

127. Sowohl die Formen der Krystalle als die Phänomene ihrer Entstehung (119 u. 120) weisen deutlich darauf hin, daß die Molekel der Körper nicht sphärisch, sondern polyedrisch sind; denn mit einer sphärischen Gestalt läßt sich das Daseyn von Stellen, wo die Anziehung stärker ist, als anderen (120), durchaus nicht vereinbaren, während die bereits vorgetragenen Lehren, ja sogar die verschiedenen Modificationen des festen Zustandes, wovon in der Folge die Rede seyn wird, aus der Annahme polyedrischer Theilchen sehr wohl begreiflich werden. Sind diese Theile sich ganz selbst überlassen, so nehmen sie jene Lage an, bei welcher ihre Anziehung am größten ausfällt, und diese Lage bestimmt dann die Krystallgestalt. Es ist klar, daß bei mehreren solchen Lagen ein Maximum der Anziehung eintreten kann,

und daß daher bei derselben Beschaffenheit der Molekel doch verschiedene Krystallformen möglich sind, ja es ist nicht schwer zu begreifen, daß zwei Stoffe sich gegenseitig, ohne die Krystallgestalt zu stören, vertreten können; denn es wird dazu nur erfordert, daß ihre Molekel entweder gleich gestaltet seyen, oder daß in ähnlichen Lagen derselben ein Maximum der Anziehung Statt finde. (Die Krystallisation in geometrischer und physikalischer Hinsicht von Brochant de Villiers. Heidelberg, 1820. Mohs's Naturgeschichte des Mineralreichs. Wien, 1832. Grundriß der Krystallographie von Naumann. Leipzig, 1830. Geschichte der Krystallkunde von Marx. Carlsruhe, 1825. Elemente der Krystallographie von G. Rose. Berlin, 1833. Gehlers neues Wörterbuch, Artikel: Krystallometrie.)

B. Art der Verbindung der Theile fester Körper.

128. Die Theile fester Körper befinden sich in stabilem Gleichgewichte unter einander, indem nur durch eine bestimmte Kraft eine Aenderung ihrer Lage bewirkt wird. Diese Aenderung selbst ist entweder eine bleibende oder eine nach Wegnahme der sie bewirkenden Kraft wieder verschwindende, gerade so wie ein stabiler, schwerer Körper durch eine seiner Stabilität entgegenwirkende Kraft wieder in eine andere stabile Lage gebracht wird, oder nur seine alte Lage verläßt, so lange die Wirkung jener Kraft dauert, hierauf aber sie wieder einnimmt. Die verschiedene Größe der Stabilität der Theile unter einander und die Anzahl ihrer möglichen stabilen Lagen begründet verschiedene Modificationen des festen Zustandes.

129. In soferne die Lage der Theile eines festen Körpers durch eine äußere Kraft geändert wird, aber wieder zurückkehrt, sobald diese Kraft zu wirken aufhört, heißt ein Körper elastisch. Es liegt im Begriffe der Stabilität, daß jeder feste Körper elastisch, ja für Kräfte, die eine gewisse Grenze nicht überschreiten, sogar vollkommen elastisch sey, d. h. nach Wegnahme der störenden Kraft seine vorige Gestalt und Dichte vollkommen wieder annehme; doch wird die Größe der größten Kraft, für welche er noch vollkommen elastisch ist, für verschiedene Körper, ja selbst für denselben Körper unter verschiedenen Umständen verschieden ausfallen, gleichwie die Stabilität verschiedener oder desselben schweren Körpers in verschiedenen Lagen eine verschiedene Größe hat. Die größte jener Kräfte, für welche ein Körper noch vollkommen elastisch ist, bestimmt die Größe der Elasticität, und die Größe der Dehnung, welche er durch sie erleidet, die Elasticitätsgrenze. Die Größe der Dehnung kann man, wie später zu erwähnende Versuche lehren, innerhalb der Elasticitätsgrenze ohne merklichen Fehler der dehnenden Kraft proportional setzen. Der Quotient den man erhält, wenn man diese durch jene dividirt, heißt das Elasticitätsmaß (Elasticitäts-Modulus). Bei einem durchaus homogenen Körper ist das Elasticitätsmaß nach allen Richtungen gleich groß; bei krystallisirten ist dieses nicht allgemein, sondern nur für vielarige Krystalle der Fall. (Mehr hierüber in der Akustik.) Sowohl

die Größe als die Grenze der Elasticität ist bei verschiedenen Körpern verschieden, und beide ändern sich oft bei demselben Körper. So haben z. B. gehärteter Stahl, geschlagenes Messing, Elfenbein, Federharz, Fischbein 2c. eine bedeutende Elasticität; Stahl hat eine größere Elasticitätsgrenze als Eisen; frisches Holz eine größere als trockenes, geschmiedete Metalle eine größere als gegossene, Wärme und schnelles Abkühlen nach starker Erhitzung verändern die Elasticitätsgrenze. Auch die Gestalt der Körper hat hierauf Einfluß, wie man am Glase sieht, das in dünnen Fäden eine größere Elasticitätsgrenze hat, als in Klumpen. Der innere Grund dieser Verschiedenheiten liegt höchst wahrscheinlich wieder in der verschiedenen Gestalt der Atome und in ihrer gegenseitigen Entfernung von einander.

Nach Lagerhjelm erleiden alle Arten Eisen, sie mögen hart, weich oder brüchig seyn, bei gleichen Dimensionen durch gleiche Kräfte eine gleiche Dehnung und sind gleich elastisch; aber ihre Elasticitätsgrenze ist nicht dieselbe, sondern bei hartem Eisen größer als bei weichem, bei Stahl größer als bei Eisen. Durch Strecken wird die Elasticitätsgrenze erweitert, aber die Elasticitätsgröße unverändert gelassen. Folgende Zahlen verhalten sich wie die Elasticitätsmaße der beigesetzten Stoffe: für Stangeneisen 1070, für Stahl 1085, für Gußeisen 658, für Kupfer 686, für gezogenes Messing 522, für gegossenes 325, für Silber 443, für Blei 118, für Glas 368. (Lagerhjelm's Versuche über die Dichtigkeit, Elasticität, Schmiedbarkeit und Stärke des Eisens. Nürnberg, 1829.) Young, der den Begriff Elasticitätsmodul zuerst in die Physik einführte (*Lectures on natural phil. Tom I. p. 137.*), versteht darunter jene Zahl x, die sich zu dem Gewichte p, das durch seinen Druck eine bestimmte Verkürzung eines Körpers hervorbringt, so verhält, wie die Länge l des geänderten Körpers zur Verkürzung c; oder es ist $x = \frac{p\,l}{c}$. Für $l = 1$ wird $x = \frac{p}{c}$ und in dieser Bedeutung wird das Elasticitätsmaß auch hier genommen.

130. Das Verhältniß der Größe der Dehnung oder Compression, welche ein elastischer Körper innerhalb der Elasticitätsgrenze von Kräften erleidet, zu diesen Kräften, zeigen Versuche, wie sie s'Gravesande und Coulomb 2c. angestellt haben. Es wurden zu diesem Zwecke 1) metallene Saiten durch angehängte Gewichte ausgedehnt, und die dadurch entstandenen Verlängerungen gemessen. Solche Stangen wurden freilich auch dünner, besonders an einzelnen schwächeren Stellen, und die Theile mußten einander daselbst näher gekommen seyn, allein nach Cagniard Latour beträgt diese Verminderung der Dicke nur $^1/_2$ von der Vergrößerung der Länge; 2) Metallfedern zusammengedrückt und ausgedehnt; 3) dünne Stäbe an einem Ende in horizontaler Lage befestiget und am anderen durch Gewichte gebogen; 4) Kugeln von Elfenbein, Cautschouk oder Metall auf eine mit Fett dünn überzogene, ebene Platte von einer bestimmten Höhe im freien Falle herabgelassen, und der beim Zusammendrücken entstandene, kreisrunde Fleck auf der Platte gemessen; 5) lange Drähte vertical am oberen Ende befestiget, am unteren durch ein Gewicht gespannt, das mit einem horizontalen Zuge versehen war, durch dessen Bewegung

der Draht selbst um einen bestimmten Winkel gedreht werden konnte. — Diese Versuche geben das merkwürdige Resultat, daß innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität alle räumlichen Veränderungen elastischer Körper den Kräften proportionirt sind, durch die sie hervorgebracht werden. Da aber diese Kräfte dem Widerstande des elastischen Körpers gleich sind; so kann man auch sagen: Die räumlichen Veränderungen elastischer Körper sind dem Widerstande proportionirt, den die Elasticität leistet.

131. Wird die Gestalt eines festen Körpers über die Elasticitätsgrenze hinaus durch eine Kraft geändert, so treten seine Theile in ein neues stabiles Gleichgewicht und der Körper ist in diesem abermals elastisch, hat aber meistens eine andere Größe und Grenze der Elasticität, oder es erfolgt eine Trennung desselben. Im ersten Falle heißt er dehnbar, im zweiten spröde; erleidet ein Körper schon durch sehr geringe Kräfte eine bleibende Formveränderung, so heißt er weich, braucht er dazu eine sehr große Kraft, so nennt man ihn hart. Hämmerbarkeit, Streckbarkeit rc. sind besondere Formen der Dehnbarkeit. Die Größe der Dehnbarkeit wird durch die Verlängerung bestimmt, welche ein Körper, ohne zu zerreißen, verträgt. Sie ist von der Natur der Körper und von deren Temperatur abhängig, und überhaupt desto größer, je höher letztere ist. Sprödigkeit ist als ein sehr geringer Grad von Dehnbarkeit anzusehen, und wird besonders durch schnelles Abkühlen nach vorhergegangener Erhitzung erzeugt, wie besonders das Glas zeigt, das, um nicht spröde zu seyn, stets eine sehr langsame Abkühlung fordert. (Bologneser-Fläschchen, Glastropfen, Glaswürmer.) Der Grund dieser Eigenschaft fester Körper liegt wieder ohne Zweifel in der polyedrischen Gestalt ihrer Molekel und ihrer gegenseitigen Entfernung. Gleichwie ein schweres Polyeder mehrere Lagen des stabilen Gleichgewichtes hat, deren immer eine durch eine labile Lage in die andere übergeht; so können auch polyedrische, durch anziehende Kräfte zu einem Körper verbundene Atome mehrere stabile Gleichgewichtslagen haben und aus einer in die andere übergehen, mithin dehnbar seyn. Je mehr Flächen die Atome begrenzen und je weniger diese von einander abstehen, desto näher liegen die Lagen des stabilen Gleichgewichtes einander und desto dehnbarer muß der Körper seyn. Je kleiner die Stabilität und je näher die Stabilitätslagen einander sind, desto weicher wird ein Stoff ausfallen.

Nach Lagerhjelm ist für Eisen das Product aus der Elasticitätsgrenze in die Quadratwurzel der Dehnbarkeitsgrenze eine constante Größe. — Nach der Größe der Hämmerbarkeit folgen die Metalle in folgender Ordnung auf einander, vom hämmerbarsten angefangen: Blei, Zinn, Gold, Zink, Silber, Kupfer, Platin, Eisen. Nach der Größe des Widerstandes beim Ausziehen zu Draht folgen die Metalle nach Karmarsch (Jahrb. des k. k. polyt Inst. 17. 323) so auf einander: Stahl hartgezogen, Eisen, Messing, Gold geglüht, Stahl geglüht, Kupfer hart gezogen, 12löth. Silber geglüht, 14löth. Silber geglüht, Messing, Eisen, Platin, Kupfer, feines Silber, Zink, feines Gold, Zinn, Blei. Nach der Leichtigkeit, mit der sie sich zu Blech walzen lassen, stehen

sie in folgender Reihe: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Platin, Eisen.

132. Werden die Theile eines Körpers über die Grenzen seiner Dehnbarkeit von einander entfernt, so erfolgt eine Trennung derselben, weil sie die Grenzen der Wirkungssphäre der anziehenden Kraft überschreiten, und der Körper wird zerrissen, zerdrückt, zerbrochen oder endlich abgedreht. Beim Zerreißen wird der Körper an einem Ende vertical eingespannt und am anderen Ende so lange mit Gewichten belastet, bis es reißt. Dieses Gewicht, um so viel vermehrt, als das abgerissene Stück selbst wiegt, ist zwar etwas größer als der Zusammenhang der getrennten Theile, kann aber für die Größe des Zusammenhanges angenommen werden, wenn man die dem Körper angehängte Last nur um kleine Unterschiede wachsen ließ. Man kann das zum Zerreißen erforderliche Gewicht anfänglich beiläufig bestimmen, und durch einen zweiten genaueren Versuch verbessern. Beim Zerdrücken setzt man den Körper auf eine feste Unterlage und belastet ihn von oben so lange, bis die Trennung erfolgt. Beim Zerbrechen wird er in horizontaler Lage an einem oder an beiden Enden befestiget und außer der unterstützten Stelle belastet, bis der Zweck erreicht ist. Beim Zerdrehen befestiget man ihn ebenfalls an einem Ende und bringt am anderen die Kraft an, welche nach der Tangente eines Kreises wirkt und ihn zu drehen sucht. Dem Zerreißen müssen Stricke, Ketten 2c., dem Zerdrücken Säulen, verticale Balken an Gebäuden, Brückenpfeiler, dem Zerbrechen alle Querbalken, dem Zerdrehen die Wellbäume an Rädern widerstehen.

133. Die Größe der zum Zerreißen nöthigen Kraft hängt von der Cohärenz der Theile und vom Querschnitte an der Trennungsstelle ab. Sollen daher Zerreißungsversuche auf die relative Größe der Cohärenz der Theile verschiedener Körper zu schließen erlauben, so müssen diese gleiche Querschnitte haben, oder man muß die Resultate durch Rechnung auf gleiche Querschnitte reduciren.

Versuche dieser Art sind von vielen Gelehrten angestellt worden; man beschränkte sich dabei aber vorzüglich auf Metalle, Holz und Stricke, weil man sich von diesen die größte Anwendbarkeit versprechen konnte. Man fand, daß die Metalle im Allgemeinen eine größere Festigkeit haben, als die Hölzer, daß aber selbst unter Metallen eine große Verschiedenheit in Bezug auf Festigkeit Statt findet. Unter übrigens gleichen Umständen ergibt sich aus Musschenbroek's Versuchen folgende Ordnung der Metalle vom festesten angefangen: Eisen, Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Wismuth, Zink, Spießglanz, Blei. Gegossene Metalle sind in der Regel schwächer als geschmiedete; warme sind wieder schwächer als kalte. Bei den meisten Metallen hat schnelles Abkühlen eine große Veränderung der Festigkeit zur Folge, doch ist diese Veränderung nicht für alle von derselben Art. So wird z. B Eisen dadurch stärker, Kupfer schwächer. Mäßiges Hämmern stärkt, zu heftiges schwächt den Zusammenhang, letzteres wahrscheinlich deßhalb, weil es die Sprödigkeit so sehr vermehrt daß der geringste, ungleich angebrachte Schlag kleine Risse erzeugt. Die chemische Mischung ändert die Festigkeit bedeutend, und es kommt dabei nicht bloß auf die Verschiedenheit der in der Mischung enthaltenen Stoffe an, sondern auch auf das Verhältniß

ihrer Mengen. Dieses bestätigen die Compositionen zu Stückgut, Glockenspeise, Tomback, Semilor. Oft reicht ein sehr kleiner Zusatz eines Stoffes hin, die Festigkeit ungemein zu verstärken. So wird Eisen durch Kohlenstoff zu Stahl, und gewöhnlicher Stahl nach Faraday durch 1/5 pCt. Silber, oder noch besser durch 1/2 pCt. Rhodium ungemein verbessert. (Gilb. Ann. 69. 179.) Holz ist schwächer als Metall; unter den gewöhnlichen Holzarten haben das Buchen- und Eichenholz die meiste Festigkeit; alle weichen Holzarten sind viel schwächer als die harten. Im Allgemeinen folgen die Hölzer nach ihrer Festigkeit so auf einander: Buche, Esche, Linde, Ulme, Tanne, Fichte. Aber nicht jedes Holz desselben Namens hat auch dieselbe Stärke: denn anders ist die Festigkeit an Bäumen, die in Gebirgsgegenden wachsen, anders an jenen, die im flachen Lande fortkommen, ja an demselben Baume haben Stamm, Aeste und Wurzeln eine verschiedene Festigkeit. Um die Festigkeit der Stricke zu erfahren, nahm man selbe von verschiedener Dicke, aus einer verschiedenen Anzahl von Litzen und Fäden bestehend, von verschiedenem Materiale gemacht, mehr oder weniger gedreht. Den Versuchen gemäß sind Stricke von derselben Dicke desto stärker, je feiner der Flachs oder Hanf war, aus dem sie bestehen, und je weniger sie zusammengedreht sind. Durch das Zusammendrehen kommen die Fäden schon in einen gespannten Zustand, den man so ansehen kann, als trügen sie schon ein Gewicht. Deßhalb sollen auch Stricke nicht mehr gedreht werden, als bis die Fäden dadurch 1/6 ihrer Länge verloren haben. Man hat, um den durch das Zusammendrehen entstehenden Nachtheil zu beseitigen, schlauchförmig gewebte Stricke empfohlen. Nasse Hanfseile und Baumwollengarne sind stärker als trockene, ungetheerte stärker als getheerte. Geflochtene Schnüre sind stärker als gedrehte, ungebleichte stärker als gebleichte, seidene stärker als leinene von derselben Dicke; eine Schnur von Menschenhaar ist stärker, als eine eben so dicke von Pferdehaaren. — Nach Gerstner's Versuchen, die mit Clavierdrähten, Stahlfedern und Blechstreifen angestellt wurden, herrscht zwischen der dehnenden Kraft p und der dadurch bewirkten Dehnung e folgende Relation: $p = e(A - Be)$, wo A und B durch Versuche zu bestimmende Größen sind. Daraus ergibt sich für die größte Dehnung E die Gleichung $E = \frac{A}{2B}$ und für die größte dieser Dehnung entsprechende Belastung $P = \frac{1}{2} AE$. (Gerstner's Mechanik Bd. I. S. 263.)

134. Beim Zerdrücken fallen die Resultate der Versuche sehr verschieden aus, je nachdem der Körper lang oder kurz ist. Am reinsten sind sie bei kurzen Körpern, weil diese sich nicht biegen. Auch hier ändert sich zuerst der Körper durch Einwirkung der drückenden Kraft, er verkürzt sich und wird dicker; so wie aber die Kraft die rechte Stärke erlangt hat, erfolgt der Bruch entweder dadurch, daß die oberen Theile wie Keile die unteren aus einander treiben, oder dadurch, daß die oberen über die unteren hinabgleiten. Harte, homogene und feinkörnige Steine zerfallen in Blätter oder in verticale Nadeln, einige Steine theilen sich zuerst in verticale Pyramiden, deren Spitzen einander zugekehrt sind, und die keilförmig auf einander wirken, bis sie sich zu Staub zerdrückt haben. Die zum Zerdrücken nöthige Kraft wächst mit dem Querschnitte, und ist bei einerlei Größe desselben desto bedeutender, je kleiner der Umfang dieses Querschnittes ist. Vergrößerung der Höhe vermindert den Widerstand des Körpers.

135. Eine Kraft, die einen Körper zu zerbrechen sucht, entfernt zuerst die an der converen Seite liegenden Theile, und nähert die an der concaven liegenden; nur gewisse im Innern des Körpers liegende Theile behalten ihre natürliche Lage. Sind die Theile eines Querschnittes so sehr gedehnt, daß sie ohne Trennung nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, oder die verkürzten so sehr einander genähert, daß ohne Zerdrücken keine weitere Annäherung mehr möglich ist; so erfolgt bei der geringsten Vermehrung der Kraft ein Bruch. Dieser zeigt sich bei verschiedenen Körpern auf verschiedene Weise. Beim Glas, bei Steinen und gegossenen Metallen trennen sich alle Theile eines Querschnittes auf einmal; bei Hölzern findet nur an der am meisten converen oder concaven Seite eine Trennung Statt; bei geschmiedeten Metallen hängen die Theile noch nach dem Bruche an einander, und treten gleichsam in ein neues Gleichgewicht. Uebrigens richtet sich die zum Zerbrechen nöthige Kraft nach den Dimensionen des Körpers; sie wächst, wie die Breite und das Quadrat der Höhe zunimmt und die Länge abnimmt. Hohle Körper sind im Verhältnisse zu ihrer Masse stärker als massive, daher auch hohle Halme, Stängel und Knochen bei wenig Masse viel aushalten, und metallene hohle Säulen eine unglaubliche Stärke haben. (Duhamel in Ersch's und Gruber's Encykl. B. 18. 212.)

136. Wirkt eine Kraft so auf einen Körper, daß sie ihn zu drehen sucht, so werden die Theile außer dem befestigten Ende um einen Winkel gedreht, welcher desto größer ist, je mehr diese Theile vom festen Ende abstehen. Dadurch kommen jene, welche sich in ihrer natürlichen Lage in einer geraden Linie befinden, in eine Schraubenlinie zu liegen, und entfernen sich dabei von einander. Steigt diese Kraft so weit, daß die Theile nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, so erfolgt bei der geringsten Steigerung derselben ein Abdrehen.

137. Den bisher angeführten Erscheinungen analog sind diejenigen, welche man bei getrennten Körpern bemerkt, die an mehreren Punkten mit einander in Berührung gekommen sind. Nimmt man zwei Bleistücke, gibt jedem eine ebene und metallinische Fläche, drückt sie an diesen zusammen; so kann man sie nur mit großer Kraft wieder von einander trennen. Eine Bleiplatte mit einer Zinnplatte oder eine Kupferplatte mit einer Silberplatte durch Glättwalzen gezogen, gibt ein fast untrennbares Ganzes. Zwei Stücke weiches Eisen oder Platin lassen sich durch Hammerschläge zusammenschweißen. Nach Hermbstädts, Cavendishs und Anderer Versuchen sollen manche Körper schon in einiger Entfernung ein Bestreben zur Vereinigung äußern.

138. Faßt man alles, was die in diesem Kapitel angeführten Thatsachen und Gesetze in Betreff der Wirkungsweise der Molekularanziehung bei festen Körpern lehren, zusammen, so gewinnt man die Ueberzeugung: 1) daß die Molekularanziehung von der Natur der kleinsten Theile, denen sie zukommt, und von ihrer Temperatur abhängt, 2) daß sie wohl in die Entfernung wirkt, aber mit wachsender

Distanz der betreffenden Theile sehr schnell abnimmt und bei kaum merklicher Distanz schon als verschwindend klein angesehen werden muß; wegen der ungemeinen Kleinheit der Molekel und ihrer Entfernungen von einander kann es aber deßungeachtet seyn, daß sich die Kraft eines Theilchens selbst ohne merkliche Abnahme der Intensität auf sehr viele andere erstreckt. Diese wenigen Sätze machen die Basis der neuesten, von Poisson mit so gutem Erfolg angestellten, mathematischen Untersuchungen über Gleichgewicht und Bewegung der Körper aus. (*Mémoires de l'Acad. T.* 8.)

Siehe Link in Gilb. Ann. 25. 133; 47. 1; in Pogg. Ann. 8. 25; Mitis in Zeitsch. 3. 1; 4. 129. Duleau's theor. pract. Versuche über den Widerstand des geschmiedeten Eisens. Aus dem Franz. Leipzig, 1825. Tredgold über die Festigkeit des Gußeisens. Aus dem Engl. Leipzig, 1826. Ampère in Pogg. Ann. 26. 161. Frankenheim, die Lehre von der Cohäsion 2c. Breslau, 1835. Von den älteren Werke hierüber sind vorzüglich zu bemerken: *Musschenbroek introd. in cohaerent. corp. firm. Lugd. Bat.* 1725. *G. s'Gravesande elementa physicae. Leidae*, 1742. *pag.* 367. *c. s.*

Fünftes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern (Hydrostatik).

A. Ueber Flüssigkeiten überhaupt, über tropfbare insbesondere.

139. Das Wesen des flüssigen Zustandes besteht in der absolut leichten (d. h. durch die kleinste denkbare Kraft bewirkbaren) Verschiebbarkeit der Theile nach allen Richtungen. Sie kann offenbar nur in Körpern Statt finden, deren Molekel so weit von einander entfernt sind, daß die Wirkung jedes einzelnen rings um den Mittelpunkt seiner Masse von gleicher Stärke ist, und demnach so erfolgt, als wären diese Theilchen sphärisch. Die absolute Verschiebbarkeit der Theile ist die Grundlage aller Untersuchungen über Gleichgewicht und Bewegung flüssiger Körper, und alle mechanischen Erscheinungen solcher Körper sind Folgen dieser Eigenschaft und der auf die kleinsten Theile wirkenden Kräfte.

140. Eine natürliche Folge der absoluten Verschiebbarkeit der Theile ist, daß sich in einer flüssigen Masse die Wirkung einer Kraft, welche nur nach einer bestimmten Richtung zielt, nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fortpflanzt. Man denke sich in einem von allen Seiten geschlossenen Gefäße ABCD (Fig. 41) eine Flüssigkeit, z. B. Wasser (von dessen Schwere man vor der Hand absehen kann) und über einer Oeffnung GH desselben einen dicht anschließenden Kolben EFGH, der mit der Kraft P abwärts drückt. Dieser Druck wirkt zwar unmittelbar nur auf die Wassertheilchen, welche die untere Kolbenfläche berühren, pflanzt sich aber durch diese nach allen Richtungen.

fort. Die nach abwärts gerichtete Fortpflanzung ist für sich klar, weil nach dieser Richtung die Kraft P wirkt; aber wegen der Fähigkeit jedes einzelnen Theilchens, nach allen Richtungen gleich leicht auszuweichen, muß sie auch nach den Seitenwänden erfolgen, und zwar wird jedes Stück sowohl des Bodens CD, als auch der Wände AD, BC, AH, GB, welches der Kolbenfläche GH an Flächeninhalt gleich ist, mit der Kraft P auswärts gedrückt. Verhält sich daher die Fläche GH zur Fläche des Stückes LM der Seitenwand BC, wie a zu b, und nennt man den Druck, welchen LM in Folge der Einwirkung der Kraft P auf GH leidet, Q, so besteht die Proportion $P:Q = a:b$. Denkt man sich eine Oeffnung bei LM, und diese durch einen Kolben geschlossen, auf den die Kraft Q nach einwärts wirkt, so halten die Kräfte P und Q einander das Gleichgewicht. Eine Vorrichtung dieser Art läßt sich demnach als eine einfache Maschine betrachten, wobei das Gefäß ABCD jede beliebige Form haben, und die Oeffnungen GH, LM an beliebigen Stellen desselben angebracht seyn können.

141. Eine weitere Folge der absoluten Verschiebbarkeit der Theile ist, daß eine flüssige Masse nur dann im Gleichgewichte stehen kann, wenn sich die auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kräfte für sich im Gleichgewichte befinden, mithin wenn sich diese Kräfte selbst aufheben oder durch einen Widerstand aufgehoben werden. Einen solchen Widerstand leisten die Wände der Gefäße durch ihre Festigkeit, auch die Theile tropfbarer Flüssigkeiten durch ihre Unzusammendrückbarkeit; bei den Theilen ausdehnsamer Flüssigkeiten wirkt ihr Bestreben, sich auszudehnen, den äußeren Kräften entgegen. Hieraus kann man nun klar einsehen, daß das Gleichgewicht einer flüssigen Masse nicht gestört wird, wenn man einen Theil derselben durch eine feste Wand ersetzt, welche durch ihre Festigkeit dasselbe leistet, was die von ihr verdrängten flüssigen Theile durch ihre Unzusammendrückbarkeit oder Ausdehnsamkeit zu leisten vermochten; oder umgekehrt, an die Stelle einer festen Wand flüssige Theile setzt.

142. Befindet sich eine Flüssigkeit in einem offenen Gefäße, so muß im Stande des Gleichgewichtes die Oberfläche so gestaltet seyn, daß die Richtungen der auf sie wirkenden Kräfte auf ihr senkrecht stehen; denn widrigenfalls könnte jede Kraft in zwei zerlegt werden, wovon eine in der zu ihrem Angriffspunkte gehörigen Berührungsebene wirken, und daher ein Hingleiten der Theile längs derselben verursachen würde.

143. Nach diesen Gesetzen richten sich alle flüssigen Körper, sowohl die tropfbaren als die ausdehnsamen, weil sie auf einer Eigenschaft beruhen, die beiden gemeinschaftlich zukommt; doch gibt es sowohl für die einen als für die anderen Körper auch besondere Gesetze, und diese müssen durch jene Eigenschaften bestimmt werden, auf denen das Wesen des tropfbaren oder ausdehnsamen Zustandes beruht. — Tropfbare Körper, von denen hier vorzugsweise gehandelt werden soll, sind so schwer zusammendrückbar, daß nur sehr große Kräfte eine merkliche Compression bewirken, und sie für mäßige Kräfte als völlig un-

zusammendrückbar angesehen werden können. Diese Eigenschaft begründet das Daseyn eigenthümlicher Gesetze für solche Körper.

Auf der in 140 besprochenen Fortpflanzung des Druckes und der Unzusammendrückbarkeit einer Flüssigkeit beruht die Bramah'sche Presse. (Fig. 42, a, von Außen und 42, b, im Durchschnitte.) Diese besteht im Wesentlichen aus zwei verticalen, cylindrischen, mit Wasser gefüllten Gefäßen A und B von ungleichen Durchmessern, die mittelst einer horizontalen Röhre C mit einander verbunden sind, und in deren jedem sich ein Kolben bewegt. Wird der Kolben des engeren mittelst eines Hebels D auch nur mit mäßiger Kraft herabgedrückt, so wirkt dieser Druck verstärkt auf den größeren Kolben. Damit beim Zurückziehen des kleineren Kolbens der größere nicht zurückgehen kann, ist in der Verbindungsröhre beider Cylinder eine Klappe a angebracht, welche dem Wasser vom engeren Cylinder in den weiteren zu gehen gestattet, aber nicht umgekehrt. Um mit jedem Spiel des kleineren Kolbens den größeren vorwärts zu bringen, ist mit jedem ein Wassergefäß mittelst einer Klappe b in Verbindung, aus welchem bei jedem Hub des kleineren Kolbens eine neue Portion Wasser in den Cylinder dringt, ohne beim Sinken des Kolbens wieder in dasselbe Gefäß zurückkehren zu können. Nur wenn man die Communication zwischen dem größeren Cylinder und dem Wassergefäße durch Umdrehen eines Hahnes o herstellt, kann das Wasser wieder aus jenem in dieses gelangen, worauf der Kolben durch sein eigenes Gewicht sinkt und dem Druck auf den Körper, welcher sich zwischen der Kolbenplatte E und dem Gerüste der Presse F befindet, ein Ende macht. Es ist leicht, die Kraft zu berechnen, mit welcher ein bestimmter, unmittelbar am äußersten Hebelarme angebrachter Druck auf den größeren Kolben wirkt. Ist D der Durchmesser des größeren, d derjenige des kleineren Kolbens, A der längere, a der kürzere Hebelarm; so wird die am Hebelende wirkende Kraft p durch den Hebel in dem Verhältnisse a : A, durch die ungleiche Dicke der Kolben in dem Verhältnisse $d^2 : D^2$ verstärkt, und wirkt daher auf den größeren Kolben mit der Stärke $p \cdot \frac{D^2 A}{d^2 a}$. Man braucht diese Presse heut zu Tage häufig in Tuchfabriken, Papiermühlen; auch zum Heben großer Lasten wird sie verwendet.

144. Starke Kräfte bewirken an tropfbaren Flüssigkeiten eine Compression, die bis zu einer gewissen Grenze der Kraft proportionirt ist, auch kehrt, wenn diese Kraft zu wirken aufhört, das vorige Volum wieder zurück. Solche Körper sind also vollkommen elastisch. Dieses hat zuerst Herbert bewiesen, und Pfaff, Perkins, Oersted, vorzüglich aber Colladon und Sturm haben es bestätiget. Herbert bediente sich des Apparates (Fig. 43), wo A eine hohle, an eine enge Röhre a angeblasene Glaskugel von bekannter Capacität, B eine erweiterte, aber unter einem rechten Winkel gebogene Fortsetzung der Röhre a ist. Die Kugel A befindet sich in einem wasserdichten Gefäße C, an dessen oberer Wand sich ein Rohr d, von gleichem Durchmesser mit a, erhebt. Wird die Kugel A sammt einem Stück der engen Röhre bis a, so wie das die Kugel umgebende Gefäß C bis d mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt, und hierauf durch das Rohr B Quecksilber nachgegossen, um jene Flüssigkeit zusammenzudrücken; so braucht man nur den Weg ab, um welchen die Flüssigkeit

in der Röhre zurückgewichen, und den Weg de, um welchen sie im Gefäße C gestiegen ist, zu messen, und den Unterschied der Volume ab — de mit dem Volum der Flüssigkeit vor dem Versuche zu vergleichen. Da nämlich das Zurückweichen der Flüssigkeit von a nach b von der Compression derselben und von der Ausdehnung der Kugel A, das Steigen de aber bloß von letzterer Ursache herrührt; so ist ab — de offenbar die Größe der Compression, welche die Flüssigkeit erlitten hat. Theilt man das dieser Größe entsprechende Volum durch jenes der Flüssigkeit vor der Compression, so erhält man die Größe der Compression. Nach dem Vorgange oben genannter neueren Physiker bringt man die zu comprimirende Flüssigkeit in einen Behälter von Glas, welcher einem Thermometergefäße ähnlich, in eine Röhre ausläuft, die mit einer Volumscale versehen ist. Diesen Behälter stellt man in ein größeres, mit derselben Flüssigkeit gefülltes cylindrisches, sehr starkes Glasgefäß, das an einem Ende geschlossen, am anderen Ende aber mit einer Druckpumpe versehen ist, um damit ein neues Flüssigkeitsquantum hinein zu treiben, und hiedurch auf die in beiden Gefäßen enthaltene Flüssigkeit einen Druck auszuüben. Die Flüssigkeit im inneren Gefäße reicht bis in die enge Röhre hinein, und ist von der äußeren Flüssigkeit durch eine Luftsäule getrennt. Hiedurch kann das Volum, welches die Flüssigkeit im inneren Gefäße bei verschiedenen Graden der Compression einnimmt, leicht bestimmt werden, und dieses Volum wäre, wenn das Glas als ein unzusammendrückbarer Stoff betrachtet werden dürfte, reines Ergebniß des Druckes, da dann das Gefäß selbst, welches von außen und innen denselben Druck erfährt, keine Volumsänderung erleiden würde. Man muß daher die Compression des Glases in Rechnung bringen, wodurch die Resultate vergrößert werden. Um die Größe des Druckes in jedem Augenblicke angeben zu können, wird in das äußere Gefäß ein mit Luft gefülltes und durch Quecksilber gesperrtes Rohr gesetzt, und aus der, durch die Volumscale, womit es versehen ist, angezeigten Compression der Luft, mit Rücksicht auf die Compression des Glases (nach dem später zu erklärenden Mariotte'schen Gesetze) auf die Größe des Druckes geschlossen, unter dem diese Luft, mithin auch die Flüssigkeit in dem vorhin beschriebenen Gefäße steht. (Mitscherlich's Lehrbuch der Chemie, zweite Auflage, S. 280.) Folgende Tabelle gibt die Resultate solcher Versuche in Milliontheilchen des ursprünglichen Volums für den Druck von einer Atmosphäre (ungefähr 12½ Pfd. für 1 Q. Zoll Fläche) an:

Quecksilber bei 0° C . =	5 03
Luftleeres Wasser bei 0° C =	51.3
Wasser, Luft haltend	
bei 0° C =	49.5
bei 10° C =	44.7
bei 16° C =	42.7
bei 3.75° C =	46.1
Alkohol bei 11°.6 C . =	96.2
Schwefeläther bei 0° C =	133.122
bei 11° C =	150.141
Wasser mit Ammoniak gesättiget . . . . =	38
Salpeteräther bei 0° C =	71.5
Salzäther bei 11°.2 C =	85.9
Schwefels. conc. bei 0° C =	32.
Essigsäure bei 0° C . =	42.2
Salpetersäure von 1.403 sp. G. bei 0° C . . =	32.2
Terpentinöhl bei 0° C =	73
Essigäther bei 12° C . =	97.3

Alkohol, Schwefeläther, Essigäther und Salzäther werden nicht für gleiche Zunahmen der comprimirenden Kräfte um gleich viel zusammengedrückt, sondern ihre Compressibilität nimmt ab, wenn die Flüssigkeit schon stark comprimirt ist. (Zeitsch. 8. 236.) — Tropfbare Flüssigkeiten verhalten sich bei der Compression etwas anders als feste Körper. Jene erleiden nach allen Richtungen dieselbe Compression, so daß die Theile, welche vor dem Zusammendrücken in der Oberfläche einer Kugel lagen, auch nach der Compression in einer solchen, aber kleineren Oberfläche liegen, während feste Körper durch eine drückende Kraft nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Compression erleiden, ja oft nach einer Richtung einer Compression, nach einer anderen zugleich einer Dilatation unterliegen. (Colladon und Sturm in Pogg. Ann. 12. 39. Oersted ebend. 9. 603; 12. 158 und 513; 31. 361.)

145. Die leichte Verschiebbarkeit der Theile flüssiger Körper ist zwar eine wesentliche Eigenschaft derselben, aber die vorhandenen tropfbaren Flüssigkeiten besitzen sie nicht in vollkommenem Grade. Am meisten nähert sich diesem mathematischen Zustande tropfbare Schwefelwasserstoffsäure, dann tropfbarer Kohlenwasserstoff; mehr entfernt davon steht das Wasser und noch mehr die fetten Oehle. Manche Körper weichen von dem Zustande der vollkommenen Flüssigkeit gar weit ab, und erscheinen in einer Art Mittelzustand zwischen Festigkeit und Flüssigkeit, wie z. B. Honig, viele Oehle. Dieser Zustand hängt von einer solchen Annäherung der Theile an einander ab, bei welcher die Ungleichheit der Molekularkraft nach verschiedenen Richtungen schon merklich zu werden anfängt, oft aber auch davon, daß solche Körper Gemenge eines flüssigen und eines fein zertheilten, festen Stoffes sind, wie dieses bei erkaltendem Oehle der Fall ist, bei welchem das Stearin eher fest wird als das Elain.

Man kann daher allerdings auch Grade der Flüssigkeit annehmen und der Messung unterwerfen, indem man derselben ein Phänomen, welches von der größeren oder geringeren Verschiebbarkeit der Flüssigkeitstheilchen abhängt, z. B. die Menge der Flüssigkeit, welche binnen einer festgesetzten Zeit aus einem enghalsigen Gefäße abfließt, zum Grunde legt.

146. In tropfbaren Flüssigkeiten hat von den zwei, den kleinsten Theilchen eigenen Kräften (38), die abstoßende das Uebergewicht. Dieses beweiset der Umstand, daß die an der Oberfläche einer Flüssigkeit liegenden Theilchen alsogleich in ausdehnsamen Zustand übergehen, wenn nicht von Außen ein Druck auf sie wirkt. In den gewöhnlichen Fällen bewirkt die atmosphärische Luft diesen Druck, im luftleeren Raume vertreten sie aber bald die sich bildenden Dünste, im Inneren einer solchen Masse wird dem Bestreben, ausdehnsam zu werden, durch das Gewicht der darüber befindlichen Theile Einhalt gethan. Man darf aber hiebei nicht übersehen, daß diese abstoßende Kraft bloß die Resultirende zweier entgegengesetzten Kräfte ist, und daß deßungeachtet auch eine anziehende Kraft vorhanden sey. Weil, der Erfahrung gemäß, zusammengedrückte Flüssigkeiten ein so großes Bestreben zeigen, sich wieder zum vorigen Volum auszudehnen, so muß die abstoßende Kraft bei einer Annäherung ihrer Angriffspunkte stärker wachsen und bei

wachsender Entfernung derselben schneller abnehmen als die anziehende, und daher ein Theilchen auf die nächste Umgebung überwiegend abstoßend, auf die fernere hingegen überwiegend anziehend wirken.

147. Tropfbare Körper werden, außer von den ihnen eigenen Molekularkräften, auch noch von solchen afficirt, welche manche ihnen sehr nahe stehende oder sie berührende, feste und tropfbare Körper auf sie ausüben. Das Daseyn einer Anziehung, welche feste Körper auf flüssige äußern, wird durch unzählige Erscheinungen außer Zweifel gesetzt. Läßt man z. B. einen Wassertropfen auf eine reine Glasplatte fallen, so sieht man ihn aus einander fließen und die ihm ursprünglich eigenthümliche Kugelform verlieren; auf einer fetten Platte zeigt er sich aber, wenn er nicht zu groß ist, völlig in seiner sphärischen Gestalt. Was der Wassertropfen auf einer reinen Glasplatte, das zeigt auch ein Quecksilbertropfen auf einer Zinntafel, während er sich auf Glas so verhält, wie Wasser auf einer Fettschichte. Das Naßwerden eines Körpers in verschiedenen Flüssigkeiten bezeuget eben so, wie der vorige Fall die Anziehung zwischen ihm und den Flüssigkeiten. Bringt man eine Scheibe mit der Oberfläche einer ruhigen Flüssigkeit, die in einem weiten Gefäße enthalten ist, in Berührung, und versucht sie dann wieder wegzunehmen; so erfährt man einen Widerstand, der bei derselben Flüssigkeit mit dem Durchmesser der Scheibe und mit dem Sinken der Temperatur wächst. So wie man die Scheibe hebt, zieht man mit ihr zugleich eine Säule der Flüssigkeit bis zu einer bestimmten Grenze in die Höhe; wird diese überschritten, so reißt sich die Flüssigkeit los. Um sie an dieser Grenze im Gleichgewichte zu erhalten, braucht man eine Kraft, die dem Gewichte der Scheibe und der gehobenen Säule gleich kommt. Diese Kraft äußert sich nur auf eine sehr geringe Entfernung; denn die Größe des Gewichtes, wodurch eine solche Scheibe von der Flüssigkeit losgerissen wird, hängt gar nicht von der Dicke, und wenn die Scheibe von der Flüssigkeit benetzt wird, gar nicht von dem Materiale der Scheibe ab. (Vergl. Frankenheim in Pogg. Ann. 37. 409.) — Es herrscht auch zwischen verschiedenen Flüssigkeiten eine Adhäsion, deren Stärke von der Natur derselben abhängt. Ein Tropfen fettes Oehl breitet sich auf einer Wasserfläche schnell aus, wird aber durch flüchtiges Oehl verdrängt und dieses wieder durch milchartige Pflanzensäfte oder durch Weingeist überwältiget, zum Beweise, daß unter diesen Körpern fettes Oehl die kleinste, Weingeist die größte Adhäsion zum Wasser habe. (Carradori in Voigt's Magazin B. 2. S. 1.) Vielleicht gehören auch Brown's Molekularbewegungen (Pogg. Ann. 14. 294) hieher.

Man benutzt die Adhäsion zwischen festen und tropfbaren Körpern zu den mannigfaltigsten Zwecken und bei vielen technischen Arbeiten, z. B. beim Leimen, Kitten, Schreiben, Anstreichen, Mahlen, Zeichnen, Lithographiren; auch Vera's Seilmaschine zum Wasserheben beruht darauf. Diese besteht aus einem oder mehreren Stricken ohne Ende, die um zwei über einander befindliche Wellen gehen. Die untere Welle befindet sich in dem Wasserbehälter, die obere an der Stelle, wohin das Wasser gehoben werden soll. Letztere läßt sich mittelst einer Kurbel um ihre Axe

drehen und nimmt bei der Bewegung die Stricke mit sich fort. Wird schnell genug gedreht, so erscheint der ganze aufsteigende Arm des Strickes mit Wasser umgeben, welches beim Wenden desselben in einem eigenen Behälter gesammelt werden kann. Aus der hier besprochenen Anziehung erklärt sich auch das Herabfließen mancher Flüssigkeiten an der äußeren Wand des Gefäßes, worin sie enthalten sind, wenn man sie langsam ausgießen will, und der Nutzen der Ausgußschnäbel und der auswärts gebogenen Ränder solcher Gefäße. Auf der Adhäsion beruht auch die Bewegung des schottischen Drehers, eines Körpers, der wie eine Glaslinse mit der converen Unterfläche auf einer geneigten Glastafel liegt. Ist diese Platte trocken, so bewegt er sich auf derselben, ohne irgend ein auffallendes Phänomen, abwärts, wird aber an die Stelle, wo er sich befindet, ein Wassertropfen gebracht, der sich ausbreitet und die convexe Fläche so umschließt, daß er daselbst einen Meniskus bildet; so beginnt der Körper sich in drehender Bewegung abwärts zu bewegen, und kann durch Neigen der Glastafel nach dieser oder jener Seite beliebig herumgeführt werden.

148. Alles bisher Gesagte zusammengefaßt lehrt, daß auf tropfbare Flüssigkeiten dreierlei mechanische Kräfte wirken: 1) die Schwere; 2) die Molekularkraft der flüssigen Theile; 3) die Anziehung fester oder flüssiger fremdartiger Körper. Zu diesen Kräften muß noch, damit tropfbare Flüssigkeiten als solche bestehen können, ein äußerer Druck kommen. Die genannten drei Kräfte und dieser Druck bestimmen die besonderen Gesetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüssigkeiten. In vielen Fällen hat die Schwere über die anderen Kräfte ein so entschiedenes Uebergewicht, daß gegen sie die Wirkungen aller anderen Kräfte verschwinden, und in solchen Fällen kann man eine Flüssigkeit als Aggregat schwerer, unzusammendrückbaren, nicht adhärirenden, absolut leicht verschiebbaren Theilchen behandeln; doch geht dieses nicht immer an, sondern man muß auch oft die anderen Kräfte gehörig würdigen. Wir wollen den ersten Fall von dem viel schwierigeren letzten trennen, und ihn vorausschicken.

B. Gesetze des Gleichgewichtes schwerer, unzusammendrückbaren, nicht adhärirenden Flüssigkeiten.

149. Befindet sich eine schwere Flüssigkeit in hinreichender Menge in einem Gefäße, so muß der Druck der oberen Theile auf die unteren ein Auseinanderfließen der tropfbaren Masse bewirken, das nur durch den Widerstand des Gefäßes aufgehoben wird. Deßhalb nehmen tropfbare Flüssigkeiten in größerer Menge immer die Form des Gefäßes an, worin sie sich befinden. Ist dieses Gefäß offen, so muß sich die Gestalt der Oberfläche der Flüssigkeit einem Kugelsegmente in dem Maße nähern, in welchem sich die Gestalt der Erde einer Kugel nähert; denn nur in diesem Falle steht die Richtung der Schwere jedes Theilchens auf der Oberfläche senkrecht (142). In kleinen Gefäßen kann man die Richtungen der Schwere für parallel halten und daher annehmen, die Oberfläche der Flüssigkeit liege in einer horizontalen Ebene.

150. Durch die Schwere erleiden alle Theile einer Flüssigkeit einen Druck nach abwärts und daher (wegen 140) nach allen Seiten. Um

diesen Druck für ein Theilchen im Innern der Masse messen zu können, denke man sich in ihr ein solches, unendlich kleines Theilchen a (Fig. 44), und man sieht leicht, daß es durch das Gewicht der Säule ab abwärts, mithin auch eben so stark seitwärts und aufwärts gedrückt wird. Es hängt daher dieser Druck von der Tiefe des Theilchens a unter der Oberfläche der Flüssigkeit ab, und Theilchen, die in einer mit der Oberfläche parallelen Fläche (mithin bei kleinen Massen in derselben horizontalen Ebene) liegen, erleiden einen gleichen Druck nach allen Seiten. Daß kein Theilchen ausweicht, kommt vom Gegendruck der übrigen her.

151. Ist Fig. 45 ein bis AB mit einer Flüssigkeit gefülltes Gefäß und AB horizontal; so kann man im Inneren eine feste Wand CED entstehen lassen, ohne daß dadurch dem Gleichgewichte Abbruch gethan wird (141). Es werden daher auch im Gefäße ACEDB die Oberflächen der Flüssigkeit AC und BD in derselben Horizontalebene liegen, mögen übrigens die Wände des Gefäßes wie immer beschaffen seyn. Gefäße, bei denen der Uebergang von einem in das andere nicht gesperrt ist, heißen Communicationsgefäße, und eine ruhige Flüssigkeit steht in ihnen immer gleich hoch. Hierauf beruht das Aufsteigen des Wassers sowohl in den gewöhnlichen als in den sogenannten Artesischen Brunnen, des Grundwassers in Flüssen, auch die Einrichtung der gewöhnlichen Lampen und der dochtlosen Nachtlämpchen (Pogg. Ann. 10. 624.) u. s. w.

152. Wenn ein Gefäß, wie Fig. 46, mit geradlinigem, horizontalen Boden CD, und verticalen Wänden AC und BD, von einer Flüssigkeit erfüllt ist, so drückt jedes Theilchen auf den Boden; es wird daher der gesammte Bodendruck P gleich seyn dem absoluten Gewichte der Flüssigkeit, mithin dem Producte aus der Basis B des Gefäßes, in die Höhe A der Flüssigkeit und in ihr specifisches Gewicht S, oder es ist $P = ABS$. Dasselbe gilt auch für jedes andere Gefäß von was immer für einer Gestalt, und der Bodendruck ist von der Menge der Flüssigkeit ganz unabhängig und richtet sich nur nach der Basis, der Höhe und dem specifischen Gewichte derselben. Denn es sey (Fig. 47) das Gefäß ABCD mit einer Flüssigkeit bis AB gefüllt, und man denke es sich als ein Stück eines Communicationsgefäßes ABEF. In diesem wird offenbar Gleichgewicht herrschen, sobald die Flüssigkeit bis AB und EF reicht, es mag nun das unregelmäßige Gefäß ABCD, oder das regelmäßige, mit verticalen Wänden versehene GCDH den zweiten Arm ausmachen. In beiden Fällen wird CD von oben nach unten und von unten nach oben mit gleichen Kräften gedrückt. Aber der Druck von unten nach oben bleibt, so lange an dem Schenkel CDEF nichts geändert wird, stets derselbe; es muß daher dasselbe auch von dem Drucke gelten, den EF von oben nach unten erleidet. Es ist also der Druck auf CD in beiden Gefäßen gleich groß. Enthielte ein Gefäß Schichten von ungleichartigen Flüssigkeiten, so dürfte man nur den Druck jeder einzelnen berechnen und die Resultate summiren, um den Gesammtdruck auf den Boden zu erhalten. Ein bestimmter Druck

einer ruhenden Flüssigkeit auf die Basis = 1 fordert demnach immer eine bestimmte Höhe der drückenden Säule. Man nennt sie die hydrostatische Druckhöhe. Auf dem Bodendrucke beruhen der anatomische Heber und seine Benützung als Wage, die Wassersäulenmaschine, Real's Presse 2c.

Der anatomische Heber (Fig. 48) ist ein Communicationsgefäß mit zwei ungleich hohen und sehr ungleich weiten Armen, wovon der weitere und kürzere mit einer Blase verbunden, der längere und engere aber offen und zur Aufnahme jenes Wassers bestimmt ist, welches die Blase über dem weiteren Arm spannen, oder ein darauf liegendes Gewicht haben soll.

Die Wassersäulenmaschine unterscheidet sich vom anatomischen Heber dadurch, daß der weitere Arm durch einen wohlanliegenden Kolben geschlossen ist, der durch den Druck des Wassers aufwärts bewegt wird, nach Abfluß desselben aber (welches durch einen eigenen Hahn, oder einen Hilfskolben bewerkstelliget wird), durch sein eigenes Gewicht sinkt, wenn nicht die Einrichtung so getroffen ist, daß ihn auch nach dieser Richtung eine Wassersäule treibt. (Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 257.)

Real's Presse (Fig. 49) ist ein weiter Cylinder mit zwei siebartig durchlöcherten Platten a, b, der oben mit einer hohen, engen Ansatzröhre c versehen ist, um das Wasser aufzunehmen, welches bestimmt ist, auf die im Cylinder befindliche, auszupressende Substanz einen Druck auszuüben.

153. Mittelst der vorhergegangenen Berechnung des Bodendruckes ist man im Stande zu beweisen, daß sich die Höhe der Säulen ungleichartiger, in Communicationsgefäßen im Gleichgewichte stehender Flüssigkeiten verkehrt, wie ihre specifischen Gewichte, verhalten. Gießt man in das Gefäß Fig. 50 z. B. Quecksilber, so daß es bis A und B reicht; so wird es im Gleichgewichte stehen, wenn A und B in einer horizontalen Ebene liegen (149). Gießt man nun auf A irgend eine andere, leichtere Flüssigkeit, z. B. Weingeist, bis C, so wird deßhalb das Quecksilber von A bis D zurückweichen, hingegen im anderen Schenkel bis E steigen. Man denke sich D und F in derselben Horizontalebene, bezeichne die Höhe der Säule DC mit A, die der Säule EF mit a, das specifische Gewicht des Quecksilbers mit S, das des Weingeistes mit s, den Röhrenquerschnitt bei D mit b; so ist der Druck auf diese Ebene von Seite des Quecksilbers gleich abS, von Seite des Weingeistes gleich Abs, und man hat

$$abS = Abs, \text{ mithin } a : A = s : S.$$

154. Daß jeder Punkt der Seitenwand eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes M (Fig. 51) einen Druck erleidet, ersieht man leicht aus 140. Die Größe dieses Druckes richtet sich offenbar nach der Tiefe des gedrückten Theils unter der Oberfläche der Flüssigkeit. Deßhalb wird der Druck auf E durch die Säule GE, jener auf F durch die Säule HF gemessen. Ein Stück der Seitenwand, dessen höchster Punkt in der Tiefe EG und dessen tiefster Punkt in der Tiefe FH unter der Oberfläche der Flüssigkeit steht, wird also durch eine Säule gedrückt, deren Basis die Fläche des gedrückten Stückes, deren Höhe

größer als GE und kleiner als HF ist, überhaupt aber mittelst Elementarrechnung nicht immer gefunden werden kann. — Aus der Berechnung des Seitendruckes leitet man die Vorschriften für Anlegung der Dämme, Schleusen rc. ab.

155. Durch den Seitendruck bekommt der gedrückte Theil ein Bestreben, sich nach der Richtung des Druckes fort zu bewegen; es kommt aber gewöhnlich zu keinem Erfolge, weil ein gegenüberstehender Theil einer hinlänglich festen Wand ein gleiches Bestreben nach entgegengesetzter Richtung erhält. Bringt man aber auf einer Seite der Wand eine Oeffnung an, so findet daselbst kein Druck mehr Statt, und die gegenüberstehende Seitenwand muß sich fortbewegen. Dieses zeigt die Erfahrung am Segner'schen Rade.

Segner's Rad besteht aus einem verticalen, cylindrischen Gefäße (Fig. 52), welches um eine verticale Axe beweglich ist, und unten zwei oder mehrere rechtwinkelige, seitwärts gebogene Ausflußröhrchen hat. Das durch dieselben aus dem Cylinder fließende Wasser setzt ihn nach einem der Richtung des Ausflusses entgegengesetzten Sinne in drehende Bewegung.

156. Befindet sich ein fremdartiger Körper in einer Flüssigkeit, so erleidet er denselben Druck nach allen Seiten, welchen die Flüssigkeit an seinem Platze erleiden würde. Der Druck seitwärts wird durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben, der Druck aufwärts übertrifft aber den nach unten gerichteten um das Gewicht der vom eingetauchten Körper verdrängten Flüssigkeit. Man denke sich im Gefäße M (Fig. 51), welches bis AG voll ist, einen Theil N der darin befindlichen Flüssigkeit von beliebigem Volum und beliebiger Gestalt. Auf der Begrenzung desselben wähle man irgend ein unendlich kleines Flächenstückchen a, und betrachte dieses als Basis eines verticalen Cylinders, der aufwärts und abwärts fortgesetzt, die Oberfläche der Flüssigkeit in c, die Begrenzung des Flüssigkeitsstückes N aber noch einmal in b treffe. Offenbar erleidet a von der N umgebenden Flüssigkeit einen abwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte der Säule ac und b einen aufwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte bc entspricht. Letzterer übertrifft ersteren um das Gewicht der Säule ab, und man kann sich vorstellen, daß diese durch den aufwärts wirkenden Unterschied beider Druckkräfte getragen werde. Ein Gleiches läßt sich von jeder andern in N vorhandenen verticalen Flüssigkeitssäule a′b′ sagen; es wird demnach die Flüssigkeitsmasse N durch den aufwärts wirkenden Unterschied der Druckkräfte im Gleichgewichte erhalten, welche sie von der umgebenden Flüssigkeit nach aufwärts und abwärts erfährt. Das Gewicht der Flüssigkeit in N ist im Schwerpunkte derselben vereinigt; durch diesen muß daher auch der aufwärts gerichtete Druck gehen. Durch eine ähnliche Betrachtung läßt sich zeigen, daß aus der Action der umgebenden Flüssigkeit auf N keine horizontal wirkende Kraft hervorgehe, indem jeder auf ein Theilchen der Begrenzung von N Statt findende horizontale Druck durch den auf ein gegenüberliegendes Theilchen ausgeübten aufgehoben wird. Dasselbe, was hier mit der Flüssigkeit in

N geschieht, muß auch für jeden fremdartigen Körper, der in dieselbe getaucht ist und das Volum N hat, gelten. Man kann deßhalb von jedem in eine Flüssigkeit getauchten Körper behaupten, daß alle auf seine Oberfläche wirkenden Kräfte eine einzige Resultirende haben, die vertical aufwärts durch den Schwerpunkt der aus ihrem Raume verdrängten Flüssigkeit geht, und gleich ist dem Gewichte dieser Flüssigkeit. — Eine natürliche Folge dieses Satzes ist, daß jeder schwere Körper in einer Flüssigkeit so viel von seinem Gewichte verliert, als die durch ihn verdrängte Flüssigkeit wiegt. Heißt daher das Gewicht eines Körpers im leeren Raume P, das der Flüssigkeit unter demselben Volum p; so ist sein Gewicht in der Flüssigkeit P — p. So lange P > p, sinkt er in der Flüssigkeit zu Boden; wenn P = p, verhält er sich in ihr, wie eine schwerlose Masse; ist aber gar P < p, so steigt er in die Höhe, bis nur ein Stück von ihm eingetaucht ist, unter dessen Volum die Flüssigkeit so viel wiegt, als der ganze eingetauchte Körper. Es ist klar, daß P und p als Gewichte unter demselben Volum in demselben Verhältnisse stehen, wie die specifischen Gewichte des eingetauchten Körpers und der Flüssigkeit.

157. Damit ein Körper in einer Flüssigkeit im Gleichgewichte stehe, d. h. schwimme, wird erfordert: 1) daß sein Gewicht dem der verdrängten Flüssigkeit gleich sey, 2) daß der Schwerpunkt der Flüssigkeit und der Schwerpunkt des eingetauchten Körpers in derselben verticalen Linie liegen. Vermöge der ersten Bedingung kann er nicht steigen oder sinken, vermöge der zweiten kann er sich nicht drehen. Man kann füglich annehmen, daß es für jeden Körper eine Lage gibt, in welcher die zweite Bedingung erfüllt ist; in diese Lage wird er sich daher von selbst versetzen. In Betreff der ersten Bedingung kann man auch mit Gewißheit behaupten, daß sie nur bei Körpern Statt findet, deren specifisches Gewicht nicht größer als jenes der Flüssigkeit ist. Alle Körper, deren Schwerpunkt unter dem Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit liegt, schwimmen, in sofern die so eben ausgesprochenen Bedingungen erfüllt sind, mit Stabilität; liegt aber der Schwerpunkt eines Körpers oberhalb jenem der verdrängten Flüssigkeit, so kann das Gleichgewicht auch labil seyn. Ein schwimmender Körper wird eigentlich durch zwei parallele Kräfte im Gleichgewichte erhalten, wovon eine aufwärts wirkt, und im Schwerpunkte der verdrängten Flüssigkeit ihren Angriffspunkt hat, während die andere abwärts zieht, und vom Schwerpunkte des eingetauchten Körpers ausgeht.

158. Zwei oder mehrere Flüssigkeiten können sich in jeder Ordnung über einander lagern und im Gleichgewichte stehen, wie immer ihre specifischen Gewichte beschaffen seyn mögen; Stabilität haben sie aber nur, wenn sie sich nach der Ordnung ihrer specifischen Gewichte über einander befinden, und die specifisch schwerste den untersten Platz einnimmt. Darum kann man in einer engen Glasröhre Wasser, ja sogar Quecksilber über Luft erhalten, so lange keine Erschütterung eintritt; darum erhebt sich Wein im Wasser durch den geringsten Stoß;

in der sogenannten Elementarwelt reihen sich die Massen nach ihrem specifischen Gewichte über einander. Hierauf beruht die Wasserwage. Daher kommt es auch, daß in einer Wassermasse bloß durch eine verschiedene Temperatur verschiedener Stellen eine Bewegung entsteht, die man mit Vortheil zum Erwärmen von Treibhäusern ꝛc. anwendet. (Zeitsch. 7. 224; 8. 456.)

Die Wasserwage besteht aus einer cylindrischen Röhre (Fig. 53), die in der Richtung ihrer Länge kreisförmig gebogen, bis auf einen kleinen Theil mit Wasser oder Weingeist gefüllt und luftdicht verschlossen ist. Gewöhnlich wird sie durch Stützen getragen, die eine gleiche Länge haben, wohl auch mittelst Stellschrauben verkürzt oder verlängert werden können. Steht die Basis horizontal, so hat die Mitte der Röhre den höchsten Stand, und die Mitte der Luftblase fällt mit ihr zusammen; wird die Basis aber aus der horizontalen Lage verrückt, so geht auch die Luftblase näher gegen das höhere Ende hin. Es dient daher die Wasserwage, um eine Ebene horizontal zu stellen, oder zu erkennen, ob eine Ebene horizontal sey oder nicht.

159. Man begreift aus dem Vorhergehenden leicht, daß sich die erste von den in 157 erwähnten Bedingungen auch für Körper erreichen läßt, die in ihrem natürlichen Zustande specifisch schwerer sind als die Flüssigkeit, in der sie schwimmen sollen, wenn man sie so sehr verkleinert, daß sie den Widerstand der Flüssigkeit nicht überwinden können, oder wenn man sie aushöhlt oder mit anderen Körpern verbindet, die specifisch leichter sind als jene Flüssigkeit. Hierauf beruhen: das Schwimmen kleiner Erdtheile im Wasser, die Einrichtung unserer Schiffe, Schwimmgürtel, Rettungsboote, das Schwimmen leerer Fässer, die Möglichkeit aus ihnen Brücken zu bauen oder versunkene Waaren aus dem Wasser zu heben, das Schwimmen der Fische, der kartesianische Taucher u. s. w.

Ist z. B. A ein kugelförmiger Körper vom Halbmesser R, dessen specifisches Gewicht S größer ist als das des Wassers σ; so kann man leicht finden, wie groß der kugelförmige Theil seiner Masse ist, der von Innen weggenommen werden muß, damit der Körper im Wasser schwimme. Denn das Gewicht dieses Körpers ist $\frac{4}{3}\pi R^3 S$, jenes des Wassers unter demselben Volum $\frac{4}{3}\pi R^3 \sigma$, wenn π das bekannte Kreisverhältniß bedeutet. Heißt nun der Halbmesser der wegzunehmenden Masse r, mithin $\frac{4}{3}\pi r^3 S$ das Gewicht derselben, so wird obige Kugel schwimmen, wenn man hat:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 S - \frac{4}{3}\pi r^3 S = \frac{4}{3}\pi R^3 \sigma \text{ oder } r = R \sqrt[3]{\left(\frac{S-\sigma}{S}\right)}.$$

Soll ein Körper statt durch Aushöhlen durch Verbindung mit einem specifisch leichteren zum Schwimmen gebracht, und das nöthige Gewicht des letzteren bestimmt werden; so nenne man sein absolutes Gewicht P, sein specifisches S; eben diese Bedeutung mögen p und s für den specifisch leichteren haben, während σ das specifische Gewicht des Wassers bedeutet. Da der Körper schwimmen wird, wenn sein Gewicht sammt der Zugabe dem Gewichte des verdrängten Wassers gleich ist; so hat man:

$$\left(\frac{P}{S} + \frac{p}{s}\right)\sigma = P + p, \text{ mithin } p = \frac{Ps\,(S-\sigma)}{S\,(\sigma - s)}.$$

Mit dem erwähnten Schwimmen muß man ja nicht das künstliche

des Menschen verwechseln. Dieses ist ein beständiges Wehren gegen das Untersinken mittelst der Hände und Füße. Der Schwimmer stemmt sich mit den flachen Händen und den Fußsohlen gegen das Wasser, indem er erstere schnell abwärts bewegt und letztere schnell ausstreckt, hierauf beide zurückzieht, und mit der kleineren Fläche das Wasser durchschneidet. Weil der Mensch beim Ausathmen die Brusthöhle verenget, nimmt er einen kleineren Raum ein, und sinkt deßhalb leichter; darum ist es für solche, die ins Wasser fallen, räthlich, den Athem an sich zu halten. Ueberdieß sollen sie sich hüthen, die Hände aus dem Wasser zu strecken, weil sie dabei Gefahr laufen, daß der Kopf untertauche. (Die Kunst zu schwimmen von Oronzio di Bernardi. Weimar 1799.)

160. Ein fester Körper kann sich in eine Flüssigkeit, deren spec. Gewicht größer ist als sein eigenes, nur zum Theil eintauchen. Ist V das Volum eines solchen Körpers, P sein absolutes, S sein specifisches Gewicht, ferner s das specifische Gewicht der Flüssigkeit und $S < s$, v das Volum des eingetauchten Theils des Körpers; so hat man (nach 33) $P = VS$, $P = vs$, mithin $VS = vs$ oder $v : V = S : s$, d. h. das Volum des eingetauchten Theils verhält sich zum Volum des ganzen Kröpers, wie das specifische Gewicht dieses Körpers zu jenem der Flüssigkeit. Wird derselbe Körper in zwei verschiedene Flüssigkeiten getaucht, deren specifische Gewichte s und s' sind; so findet man das Verhältniß der eingetauchten Theile v und v' aus $P = vs$ und $P = v's'$, woraus man bekommt $vs = v's'$, und $v : v' = s' : s$, d. h. die in verschiedene Flüssigkeiten eingetauchten Theile eines Körpers verhalten sich verkehrt, wie die specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten. Sollen zwei Körper, deren absolute Gewichte P und P' sind, in zwei Flüssigkeiten vom specifischen Gewichte s und s' sich um den Theil v eintauchen; so hat man $P = vs$, $P' = vs'$, $P : P' = s : s'$, d. h. die absoluten Gewichte verhalten sich wie die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten. — Es ist aus 33 klar, daß man statt des Verhältnisses der specifischen Gewichte jenes der Dichten setzen kann, und daß daher die hier betrachteten Rauminhalte in derselben Relation zu den Dichten, wie zu den specifischen Gewichten stehen.

C. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und tropfbarer Körper.

161. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers scheint dadurch am leichtesten geschehen zu können, daß man sein Volum und sein absolutes Gewicht ausmittelt, und aus beiden das specifische mittelst der Formel $S = \frac{P}{V}$ (33) berechnet. Allein der Ausführbarkeit dieses Verfahrens steht entgegen, daß sich das Volum eines Körpers, wenigstens eines festen, dessen Gestalt man nicht nach Belieben ändern kann, nicht genau genug bestimmen läßt. Darum wendet man es nur bei Flüssigkeiten manchmal an, und füllt sie zu diesem Ende in ein Gefäß von bekannter Capacität ein. Für andere Körper sucht man nur die Dichte, und berechnet das specifische Ge-

wicht aus dieser und dem specifischen Gewichte des Wassers, indem man diese beiden Größen mit einander multiplicirt. Denn man hat $S : s = D : d$, mithin $S = \frac{D}{d} . s$, wo S und s das specifische Gewicht, D und d die Dichte zweier Körper bezeichnen. Ist s das specifische Gewicht und d die Dichte des Wassers ($= 1$), so ist $S = Ds$.

162. Um das specifische Gewicht des Wassers zu finden, kann man auf zweifache Weise verfahren: Man kann einen festen, im Wasser unveränderlichen Körper, wie z. B. einen metallenen Cylinder, dessen Volum v und dessen Gewicht in der Luft genau bestimmt ist, in reines Wasser von bestimmter Temperatur einsenken, daselbst abwägen, und den Gewichtsverlust p bestimmen, den er darin erleidet. Aus diesen Größen ergibt sich das specifische Gewicht s nach der Formel $s = \frac{p}{v}$. Statt so zu verfahren kann man auch ein Gefäß von genau bekanntem Inhalte v mit Wasser füllen, und bestimmen, wie viel es davon dem Gewichte nach faßt. Ist dieses Gewicht wieder gleich p, so hat man abermals $s = \frac{p}{v}$.

Auf dem ersteren Wege hat Stampfer (Jahrb. des k. k. polytech. Instituts in Wien, Bd. 16) das Gewicht eines Wiener Kubikzolls reinen Wassers bei 3° R gleich 1.044023 Lth. = 250.56 Gr. gefunden. Demnach wiegt ein K. Fuß 433132.18 Gr. oder 56 Pfd. 12 L. 17.218 Gr., ein Eimer (1.792 K.-Fuß) 101.02 Pfd.; eine W. Maß 2 Pfd. 16 Loth, 197 Gr.

163. Das specifische Gewicht anderer Flüssigkeiten kann man wie jenes des Wassers finden. Man kommt aber doch leichter zum Ziele, wenn man zuerst ihre Dichte sucht, und hieraus (nach 161) ihr specifisches Gewicht berechnet. Zur Kenntniß der Dichte führen mehrere Verfahrungsarten: Man wäge einen festen Körper, dessen Gewichtsverlust p in reinem Wasser man kennt, in der zu untersuchenden Flüssigkeit sorgfältig ab, und bestimme den darin erlittenen Gewichtsverlust q. Heißt nun D die gesuchte Dichte, so hat man $D : 1 = q : p$ und hieraus $D = \frac{q}{p}$. Es versteht sich von selbst, daß der eingetauchte Körper weder im Wasser, noch in der zu prüfenden Flüssigkeit auflöslich seyn darf, und daß er sich in beide ganz einsenken muß. In den meisten Fällen reicht man mit einem soliden Glastropfen aus, nur bei der Untersuchung der Flußsäure (die Glas angreift), muß man zu einer silbernen oder bleiernen Masse seine Zuflucht nehmen. Statt des vorhergehenden Verfahrens kann man auch das folgende wählen: Man bringe die zu untersuchende Flüssigkeit in einen Arm eines communicirenden Gefäßes, und Wasser in den anderen, trenne, wenn sie sich etwa mit einander zu mischen geneigt sind, beide von einander durch eine dritte, gegen beide indifferente Flüssigkeit, und messe die Höhe der zwei Säulen, wenn das Gleich-

gewicht hergestellt ist. Diese verhalten sich verkehrt wie die Dichten der Flüssigkeiten (153).

164. Um die Dichte eines festen Körpers zu bestimmen, finde man zuerst sein absolutes Gewicht P im leeren Raume, und hierauf seinen Gewichtsverlust Q in einer Flüssigkeit von bekannter Dichte, die ihn nicht angreift. Ist wieder D die Dichte des zu untersuchenden Körpers, d jene der Flüssigkeit, so hat man (161) $D:d=P:Q$ oder $D=\frac{P}{Q}d$. Für $d=1$ wird $D=\frac{P}{Q}$. Das gesuchte specifische Gewicht erhält man durch Multiplication der Größe D mit dem specifischen Gewichte des Wassers.

165. Um einen Körper der angezeigten Methode gemäß in einer Flüssigkeit abzuwägen, bedient man sich einer eigens dazu eingerichteten Wage, welche hydrostatische Wage heißt, und sich von einer sehr empfindlichen und genauen Schalwage nur dadurch unterscheidet, daß eine ihrer Schalen an kürzeren Schnüren hängt und unten einen Haken hat, woran der feste Körper mittelst eines feinen Drahtes gehängt wird. Daß man auf den Gewichtsverlust des Drahtes, auf die Temperatur des zu untersuchenden und des Hilfskörpers Rücksicht nehmen, und überhaupt die in 108 empfohlene Abwägungsmethode anwenden müsse, wenn die Resultate genau seyn sollen, versteht sich von selbst. Gepulverte Körper wägt man auf einer gläsernen Schale, deren Gewicht und Gewichtsverlust in einer gegebenen Flüssigkeit schon vorläufig bekannt sind. Sollte der Körper specifisch leichter seyn als die Flüssigkeit, in der man ihn abwägen will; so spannt man ihn in eine Zange ein, und wägt ihn sammt derselben in der Flüssigkeit, schlägt aber nach der Hand vom gesammten Gewichtsverluste jenen der Zange ab.

166. Die Dichte der Körper, besonders der tropfbaren, welche auf dem bekannten Wege zur Kenntniß ihres specifischen Gewichtes führt, bestimmt man oft mit großem Vortheile mittelst sogenannter Aräometer (Senkwagen, Dichtemesser, Pyknometer, Gravimeter). Es gibt zwei Gattungen derselben, nämlich Aräometer mit Scalen, und Aräometer mit Gewichten.

167. Aräometer mit Scalen beruhen auf 160. Man denke sich ein hohles, am besten gläsernes Gefäß, etwa wie Fig. 54, welches am unteren Theile A so belastet ist, daß es im Wasser mit Stabilität vertical steht, und es ist einleuchtend, daß eine Einrichtung getroffen werden kann, wodurch man aus der Tiefe, bis zu welcher es in eine Flüssigkeit einsinkt, die Dichte derselben erkennt. Man kann nämlich die Aenderung x ausmitteln, welche an dem Gewichte P des Aräometers vorgenommen, dasselbe im reinen Wasser so weit einsinken macht, als es sich ohne diese Gewichtsänderung in einer Flüssigkeit von der Dichte D eintauchen würde. Zu diesem Behufe muß, da das Gewicht des Wassers $P+x$ ist, unter einem Volum, unter welchem die Flüssigkeit von der Dichte D das Gewicht P hat, die Proportion

$P + x : P = 1 : D$ Statt finden, woraus $P + x = \frac{P}{D}$, mithin

$$x = P \left(\frac{1}{D} - 1\right)$$

folgt. Hier fällt x positiv aus, wenn $D < 1$, und negativ, wenn $D > 1$ ist; es bedeutet also x im ersten Falle eine Gewichtsvermehrung, im zweiten eine Gewichtsverminderung des Aräometers. Hiernach läßt sich leicht eine Methode angeben, eine Scale zu verfertigen, deren Theilstriche die Dichte der Flüssigkeit anzeigen, worin die Einsenkung bis zu einem derselben geschieht. Wo man eine große Schärfe des Resultates wünscht, da sind diese Instrumente freilich nicht zu empfehlen, wo man aber mit einer mäßigen Genauigkeit zufrieden ist, da sind sie äußerst bequem. Sie dienen aber nebstdem noch zu einem anderen Zwecke. Nämlich die Dichte vieler gemischten Flüssigkeiten, z. B. des Weingeistes, der Säuren 2c. ändert sich mit der Menge eines oder des anderen Bestandtheiles so, daß man, wenn einmal für ein Mischungsverhältniß die Dichte durch vorläufige Erfahrungen gefunden ist, in Zukunft umgekehrt von dieser Dichte auf das Mischungsverhältniß schließen, und die Aräometer so einrichten kann, daß die Scale statt der Dichte die verhältnißmäßige Menge eines oder des anderen Bestandtheiles anzeigt. Man heißt solche Aräometer **Procentenaräometer** oder nach Verschiedenheit der Flüssigkeit, für welche sie bestimmt sind, Weingeist-, Salpetersäurearäometer u. s. w.

Zu dieser Klasse gehören auch jene Aräometer, welche weder die Dichte noch ein bestimmtes Mischungsverhältniß unmittelbar angeben, sondern deren Scalen in, meistens willkürliche, Grade eingetheilt sind. Unter allen Instrumenten dieser Art haben die von **Beaumé** den meisten Zuspruch erhalten; es ist daher nothwendig, anzugeben, wie **Beaumé** seine Scale bestimmte. Dieses geschah auf zweifache Art, je nachdem er das Instrument für Flüssigkeiten anwenden wollte, die specifisch leichter oder schwerer sind, als Wasser. Um die Scale für erstere zu erhalten, tauchte er ein Gefäß, wie Fig. 54, dessen Spindel a b durchaus gleich dick war, in eine Auflösung von 10 Th. Kochsalz in 90 Th. Wasser, und fand so den untersten Punkt der Scale, hierauf in destillirtes Wasser, um den zweiten höher liegenden Punkt der Scale zu finden; den Zwischenraum theilte er in 10 gleiche Theile und setzte diese Eintheilung bis zum Ende der Röhre fort. Den Punkt des destillirten Wassers bezeichnete er mit 10, und zählte von da auf- und abwärts, so weit es die Spindel des Aräometers erlaubte. Um die Scale für specifisch schwerere Flüssigkeiten zu bestimmen, tauchte er das Instrument in destillirtes Wasser, fand so den obersten Punkt, hierauf in eine Auflösung von 15 Theilen Kochsalz und 85 Theilen Wasser, theilte den Abstand dieser zwei Punkte in 15 gleiche Theile, setzte zu jenem 0, und übertrug diese Eintheilung auf die ganze Spindel. Man sieht leicht ein, daß diese Instrumente gar keinen wissenschaftlichen Werth haben, jedoch kann man mittelst einer Tafel die Beaumé'schen Grade in specifische Gewichte verwandeln. — Je empfindlicher ein Aräometer ist, ein desto größeres Volum nimmt es ein; meistens reicht die Scale eines Instrumentes von 0.700 bis 1.000, oder von 1.000 bis 2.000, nur durch besondere Kunstgriffe kann man in einem Instrumente beide Scalen vereinigen, ohne seiner Empfindlichkeit Abbruch zu thun. (Zeitsch. neue Folge 2. 38.)

168. Aräometer mit Gewichten, von ihrem Erfinder Fahrenheit, auch Fahrenheit'sche genannt, unterscheiden sich von den Scalenaräometern dadurch, daß sie am oberen Ende eine Schale zur Auflegung der Gewichte, und an ihrem sehr dünnen Halse einen feinen Strich haben, bis zu welchem sie sich in jede zu untersuchende Flüssigkeit einsenken müssen. Beim Gebrauche muß man ein- für allemal wissen, wie viel das Instrument selbst wiegt und wie viel Gewicht man noch zulegen muß, damit die Einsenkung in reinem Wasser bis zum Zeichen am Halse erfolge. Es sey jenes P, dieses p. Will man die Dichte D einer Flüssigkeit finden, so senkt man das Instrument darein und legt so lange Gewichte zu, bis die Einsenkung gehörig weit geschieht. Heißt dieses Gewicht p', so ist

$$D = \frac{P + p'}{P + p}, \text{ weil } P + p : P + p' = 1 : D \text{ ist.}$$

Nicholson erweiterte den Gebrauch dieses Instrumentes dadurch, daß er es unten mit einer Schale versah (Fig. 55, a). Mohs bringt diese Schale mit Vortheil unmittelbar unter dem Halse an (Fig. 55, b). Ein so eingerichtetes Aräometer kann man auch zur Bestimmung der Dichte fester Körper brauchen, deren Gewicht das Aufleggewicht p nicht übertrifft. Senkt man nämlich das Instrument in reines Wasser, legt anfangs den zu untersuchenden Körper A sammt so viel Gewicht, als zur gehörigen Einsenkung nöthig ist, auf die obere Schale, nimmt dann A weg und setzt dafür Gewichte zu; so weiß man das absolute Gewicht von A. Nimmt man nun die zuletzt aufgelegten Gewichte wieder weg, legt A in die untere, im Wasser befindliche Schale; so werden die Gewichte, die zur gehörigen Einsenkung des Instrumentes nöthig sind, den Gewichtsverlust von A im Wasser anzeigen. Aus dem absoluten Gewichte und dem Gewichtsverluste im Wasser findet man (nach 164) das specifische Gewicht.

Siehe hierüber: Meißner's Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. Wien, 1816. Baumgartner's Aräometrie für Chemisten und Technologen. Wien, 1820. Ungemein ausführlich handelt über Aräometrie das Repertorium für die Chemie als Wissenschaft und Kunst von Brandes. Hannover, 1827. 2. B. I. Abth. S. 551—630; wohl auch Gehler's phys. Wörterb. neu bearbeitet, und Liebig's und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie. Braunschweig, 1837.

Tafel der Dichte einiger Körper.

Körper	Dichte	Körper	Dichte
Platin geprägt	21.343	Wismuth gegossen . . .	9.822
» gehämmert	21.314	Kupfer gehämmert . . .	9.000
Platindraht	19.267	Kupferdraht	8.878
Platinsand	15.601	Zinn, englisches, gegossen .	7.291
Gold gehämmert	19.361	Stahl	7.810—7.833
» gegossen	19.258	Schmiedeeisen	7.788
Quecksilber gefroren . . .	15.612	Roheisen	7.207—7.250
» bei 0° R. . . .	13.598	Zink gehämmert	7.861
Blei	11.352	» gegossen	7.190
Silber gehämmert . . .	10.511	Saphir blau	3.909
» gegossen	10.474	Zirkon	4.416

Hyacinth	4.505	Lindenholz	0.604
Topas	3.499	Korkholz	0.240
Granat edler	4.098—4.208	Alkohol	0.791
» gemeiner	3.769	Schwefeläther	0.717
Smaragd	2.678—2.775	Bor	1.480
Bergkrystall	2.650—2.670	Phosphor	1.770—1.821
Glimmer	2.654—2.985	Schwefel	2.072
Lava	2.795—2.823	Selen	4.300
Serpentin	2.560—2.684	Jod	4.948
Kreide	1.797	Flußsäure	1.061
Perlen	2.750	Salzsäure conc.	1.200
Spiegelglas	2.370—2.450	Chlorsäure	1.300
Flintglas	3.15 —3.329	Salpetersäure	1.522
Eis	0.885	Schwefelsäure	1.850
Buxbaumholz	1.33	Phosphorsäure	2.687
Mahagonyholz	1.06	Ammoniak flüss.	0.875
Pflaumenholz	0.785	Kalihydrat	1.708
Birnbaumholz	0.755	Natrumhydrat	1.536

D. Gesetze des Gleichgewichtes schwerer, zusammendrückbaren, adhärirenden Flüssigkeiten.

169. Befindet sich eine tropfbar flüssige Masse frei in einem Raume, so muß für den Fall des Gleichgewichtes die Kraft, welche von außen auf dieselbe wirkt oder die jedem einzelnen Theilchen zukommt, durch eine entgegengesetzte aufgehoben werden. Dieses kann aber nur seyn, wenn die Masse die Gestalt einer Kugel hat. Sobald diese Masse auch noch von anderen Kräften afficirt wird, so verliert sie die Kugelform desto mehr, je mehr diese Kräfte gegen die den Theilchen der Flüssigkeit eigenen vorwalten. Deßhalb erscheinen uns auch kleine tropfbare Massen in Gestalt kugelförmiger Tropfen, verlieren aber diese Gestalt, sobald sie auf einen Körper kommen, zu dem sie eine Adhäsion haben oder sobald durch zu große Anhäufung der Masse der Druck der oberen Theile die unteren zu einer Seitenbewegung zwingt.

170. Da tropfbare Flüssigkeiten elastisch sind (144) und von den zwei Molekularkräften die abstoßende das Uebergewicht hat (146), so muß jede unendlich dünne Schichte im Inneren einer solchen Flüssigkeit durch die Abstoßung der angrenzenden Theile zusammengedrückt werden, und man kann sich die Sache so vorstellen, als wenn sich die genannte Schichte an die einerseits befindliche Flüssigkeit anstemmte und von der andererseits gelegenen comprimirt würde. Die Größe der Compression hängt natürlich von der drückenden Kraft ab. In hinreichender Entfernung von der freien Oberfläche der Flüssigkeit und von den Wänden des Gefäßes hat die drückende Schichte eine Dicke, welche dem Halbmesser der Wirkungssphäre der kleinsten Theile gleich ist, und die Compression ist demnach für alle Schichten gleich groß, welche eine solche Lage haben, wenn man von der geringen Compression, die von der Schwere herrührt und sich mit der Entfernung von der Oberfläche ändert, absieht. Man kann daher annehmen, im Inneren einer flüssigen Masse seyen alle Theile in einem gleichen Zustande der Compression. Die an der Oberfläche befindlichen Theile stehen nur unter dem Drucke

der äußeren, zum Bestehen des flüssigen Zustandes nöthigen Kraft, und wenn diese bloß die zur Ueberwältigung der abstoßenden Molekularkraft nöthige Stärke hat, so sind diese Theile gar nicht zusammengedrückt. Die zunächst unter der Oberfläche liegenden erleiden durch die oberflächlich liegenden schon eine geringere Compression, die noch tiefer einwärts liegenden eine noch größere, und so kommt es, daß die Dichte der Flüssigkeit von außen nach innen bis zu einer allerdings nur sehr geringen Tiefe nach einem uns unbekannten Gesetze zunimmt. In der Nähe der Gefäßwände ist die Dichte der Flüssigkeit aus ähnlichen Gründen von der im Inneren verschieden. Wirken diese Wände nicht auf die flüssigen Theile, so verhalten sich die letzteren so wie an der freien Oberfläche, wirken sie auf die Flüssigkeit, so modificiren sie das Gesetz der Dichte und können sogar durch ihre Anziehung bewirken, daß die Dichte von der Wand nach einwärts bis zu einer gewissen Entfernung abnimmt und die Theile der an der Wand anliegenden Schichte ihre große Verschiebbarkeit verlieren. Taucht man z. B. einen Glasstab in Wasser, so bleibt beim Herausziehen daran eine zwar an und für sich sehr dünne, aber gegen den Halbmesser der Wirkungssphäre der Theile doch noch sehr dicke Schichte der Flüssigkeit hängen, und erhält sich, wenn man auch dem Stabe eine verticale Richtung gibt, wo doch sehr leicht verschiebbare Theile durch den Zug der Schwere zum Hinabgleiten bestimmt werden müßten. Selbst an der freien Oberfläche sind die Theile wegen der nach einwärts sich ändernden Dichte nicht so verschiebbar, wie im Inneren, wo rings um jedes Theilchen alles gleich ist, und es verhält sich daselbst die Flüssigkeit so, als wäre sie mit einem feinen Häutchen überzogen. Daher kommt es auch, daß selbst kleine Körper, die specifisch schwerer sind als Wasser, wie feine Bleche, Nadeln rc. auf demselben schwimmen, so lange sie nicht übernetzt sind und sich nicht gleichsam unter dem oberflächlichen Häutchen befinden; so wie aber eine Uebernetzung eingetreten ist, fallen sie schnell in der Flüssigkeit zu Boden.

171. Bekanntlich haben im Gleichgewichte befindliche Flüssigkeiten nicht immer eine ebene Oberfläche, wie sie die Schwere in kleineren Gefäßen hervorzubringen sucht (149), sondern diese ist oft convex oder concav. Die Erfahrung lehrt, daß eine Flüssigkeit, die das Gefäß nicht benetzt, eine convexe, die es benetzt, eine concave Oberfläche habe. So hat in einem engen Glasgefäße Quecksilber eine convexe, Wasser eine concave Oberfläche. Selbst in einem weiten reinen Glasgefäße erhebt sich Wasser an den Wänden und krümmt sich aufwärts; wenn aber das Gefäß ganz voll ist und man deßungeachtet noch etwas zugießt, so hebt sich dasselbe über den Rand des Gefäßes mit einer convexen Oberfläche. Taucht man eine reine Glasplatte in Wasser, so hebt dieses sich zu beiden Seiten des Glases mit einer eigenen Krümmung. Es ist klar, daß diese Phänomene von den Molekularkräften herrühren, man kann aber auch beweisen, daß sie nur bei einer Flüssigkeit Statt haben können, deren Dichte sich von der äußersten Schichte

nach einwärts schnell ändert, und daß daher völlig unzusammendrückbare Flüssigkeiten stets eine horizontale Oberfläche haben müßten.

172. Die Gestalt der Oberfläche einer Flüssigkeit und die Verschiedenheiten in der Dichte ihrer äußersten Schichte begründen eine besondere Wirkung der Flüssigkeit auf sich selbst. Um diese kennen zu lernen, sey ABCD (Fig. 56) eine tropfbare Masse, deren Oberfläche im Zustande des Gleichgewichtes eben ist. Man denke sich im Inneren eine unendlich dünne Säule GH und nehme in derselben ein Theilchen m an, dessen Entfernung von der Oberfläche AB geringer ist, als der Halbmesser der Wirkungssphäre der Flüssigkeit. Denkt man sich unterhalb dieses Theilchens die horizontale Ebene EF, in gehörigem Abstande von m (bei völliger Gleichheit der Dichte der Flüssigkeit von der Oberfläche AB angefangen, müßte die Ebene EF so gewählt werden, daß sie von m eben so weit absteht, wie AB von diesem Punkte); so üben alle innerhalb AB und EF liegenden Theile der Säule GH gleiche und entgegengesetzte Wirkungen auf m aus und diese heben sich daher auf. Allein die unter EF liegenden Theile können ihre Wirkung auf m ungestört ausüben, und von diesen hängt daher auch die Wirkung der Flüssigkeit auf sich selbst ab. Doch wird man aus allem dem noch nicht einsehen, ob die aus den Wirkungen aller Theile hervorgehende abstoßend oder anziehend ist. Man nenne sie P, ohne darum zu fragen, ob sie einwärts oder auswärts zieht, und denke sich von der Masse ABCD (Fig. 57) den Meniskus AEFB weggenommen so, daß sie mit einer Convexität aufhört, welche von AB im Punkte G berührt wird. Kennt man die Wirkung dieses Meniskus auf die übrige Masse, so darf man sie nur von P wegnehmen, um die Wirkung der von einer Convexität begrenzten Flüssigkeit auf sich selbst zu erhalten. Die Wirkung dieses Meniskus auf G ist aber anziehend; denn an der Stelle, wo seine Theile nahe genug an G liegen, um abstoßend darauf zu wirken, ist er zu dünn, und wo er dick genug ist, mithin der wirkenden Theile hinlänglich viele sind, da hat schon die Anziehung über die Abstoßung das Uebergewicht. Es sey nun m ein Theilchen des Meniskus, dessen Entfernung von G kleiner ist, als der Halbmesser der Wirkungssphäre. Man ziehe mG und dann mn so, daß Gmn ein gleichschenkeliges Dreieck wird. Nun übet m auf G eine Wirkung aus, die sich in zwei zerlegen läßt, wovon eine einwärts, die andere parallel mit AB von der Säule GH gegen die Wand BD hinzieht. Auf gleiche Weise läßt sich die Wirkung von m auf n in eine auswärts gehende und in eine mit AB parallele Kraft zerlegen. Die beiden ersteren heben einander auf, und die beiden letzteren werden durch jene zwei entgegenwirkende Kräfte aufgehoben, die ein ähnlich liegendes Theilchen auf der entgegengesetzten Seite des auf der Oberfläche senkrechten Canals GH ausübet. Was von G und n bewiesen ist, das gilt von jedem Theilchen, das zwischen den Schenkeln des Dreieckes Gmn liegt; m wirkt aber auch auf die unter n liegenden Theile, indem es sie auswärts zieht, und diese Wirkung wird nicht mehr durch eine Gegenwirkung aufgehoben. Es wird

daher die Gesammtwirkung von m darin bestehen, die Theile der Säule GH auswärts zu ziehen, und deßhalb wird auch die Wirkung des ganzen Meniskus auswärts ziehend seyn. Heißt die Wirkung des Meniskus — Q (wo das Zeichen — die Wirkung nach auswärts anzeigt), so ist die Wirkung einer conver sich endigenden Flüssigkeit $= P - (-Q) = P + Q$. — Würde der Oberfläche AB der Meniskus KABL zugesetzt, so bekäme sie eine concave Oberfläche, und die Wirkung der Flüssigkeit auf die Säule GH wäre dann gleich P, mehr der Wirkung des zugesetzten Meniskus. Macht man GO mit mn parallel und gleich, so wirkt das in O befindliche Theilchen auf die unter G liegenden gerade so, wie m auf die unter n befindlichen, mithin auswärts ziehend. Es wird also die Wirkung des Meniskus KABL in einem Zuge nach auswärts bestehen. Nennt man ihn wie vorhin — Q, so muß die Wirkung auf die Säule GH seyn

$$P + (-Q) = P - Q.$$

173. Von der hier betrachteten Einwirkung rühren die an Haarröhrchen bemerkbaren Erscheinungen, Capillaritätsphänomene, her. Man nennt nämlich Röhrchen, deren innerer Durchmesser so klein ist, daß darin eine Flüssigkeit keine ebene Oberfläche mehr hat, Haarröhrchen, wenn sich auch ihre Bohrung nur von Weitem der Dicke eines Haares nähert. Taucht man ein solches Röhrchen von reinem Glase in ein mit Wasser angefülltes Gefäß, so steigt dieses im Inneren des Röhrchens gegen das in 151 erwiesene Gesetz über die Fläche des äußeren Wassers. Dasselbe geschieht auch mit jeder anderen Flüssigkeit, die das Material des Röhrchens benetzt, während eine solche, bei welcher dieser Umstand nicht eintritt, im Röhrchen unter der äußeren Flüssigkeit zurückbleibt, wie z. B. Quecksilber in Glas. Diese Erscheinungen finden im luftleeren Raume eben so, wie in der Luft Statt, sind also von der Einwirkung der Luft ganz unabhängig. Die Höhe, um welche die Säule der Flüssigkeit im Röhrchen höher oder tiefer steht, als außerhalb desselben, ist desto bedeutender, je kleiner der Durchmesser des Röhrchens ist, übrigens aber unabhängig von der Dicke der Röhrchenwand, von der Größe des eingetauchten Stückes, von der Länge des Röhrchens, wenn diese nur nicht kürzer ist, als die gehobene Säule, ja selbst das Material des Röhrchens hat, nach den Versuchen einiger Physiker, keinen Einfluß auf die Länge dieser Säule, wenn das Röhrchen nur von der Flüssigkeit naß wird, und man die Vorsicht gebraucht hat, vor dem Versuche die innere Wand der ganzen Länge nach zu befeuchten. Für verschiedene Flüssigkeiten ist die Länge der Säule selbst unter denselben Umständen verschieden. — Die Wichtigkeit dieser Erscheinung zog schon früh die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich, aber die größten Köpfe versuchten sich vergebens daran, bis es in der neueren Zeit gelang, ihre Theorie aus der größten Tiefe der Analysis zu schöpfen, und dadurch die Sache nicht bloß im Allgemeinen zu erklären, sondern auch ihr Maß anzugeben und ihre Verbindung mit anderen Erscheinungen, die man sonst für ganz ungleichartig hielt, nachzuweisen.

174. Es sey ABCD (Fig. 58) ein Röhrchen, das bis EF in eine Flüssigkeit getaucht ist, welche außerhalb desselben eine ebene Oberfläche GH hat, im Röhrchen aber mit der Krümmung ILK endigt. Man denke sich in der Axe des Röhrchens die sehr dünne Säule LM, gebe ihr im Gedanken in M die horizontale Richtung MN, hierauf wieder die verticale NO, und untersuche die Bedingungen des Gleichgewichtes der Säulen ON und LM. Es heiße demnach die Höhe der Säule ON $= a$, jene der Säule LM $= \alpha$, das specifische Gewicht der Flüssigkeit s, die Basis der drückenden Säulen b, die von außen auf die Flüssigkeit wirkende Kraft (in den meisten Fällen der Luftdruck) p, ferner mögen P und Q die vorhin (172) angenommenen Bedeutungen haben, wo P das Zeichen mit sich führt. Da ist nun der Druck der Säule ON gleich $asb + p + P$, jener der Säule LM gleich $\alpha sb + p + P \mp Q$, wo das obere Zeichen gilt, wenn die Oberfläche der Flüssigkeit concav, das untere, wenn sie convex ist; mithin für den Fall des Gleichgewichtes $asb + p + P = \alpha sb + p + P \mp Q$, oder für den Fall einer concaven Oberfläche $Q = bs\,(\alpha - a)$, für den Fall einer convexen $Q = bs\,(a - \alpha)$, mithin im ersten Falle $\alpha > a$, im letzten $a > \alpha$, d. h. eine Flüssigkeit mit convexer Oberfläche wird in einem Haarröhrchen deprimirt, eine mit concaver Oberfläche gehoben, wie es auch die Erfahrung lehrt. Man kann zeigen, daß man hat

$$Q = \tfrac{1}{2} H \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{b'}\right),$$

wo H eine durch die Natur und Compressibilität der Flüssigkeit bestimmte Größe, b und b' aber den größten und kleinsten Krümmungshalbmesser der Oberfläche bedeuten, die übrigens wie immer beschaffen seyn mag. — In cylindrischen Haarröhrchen kann die Oberfläche der Flüssigkeit als Kugelfläche angesehen werden, bei welcher $b = b'$ ist. Man hat daher bei solchen Röhrchen $Q = \frac{H}{b}$; weil aber b dem Halbmesser des Röhrchens proportionirt ist, so verhalten sich die Längen der gehobenen oder hinabgedrückten Säulen verkehrt, wie die Halbmesser der Röhrchen, ein Resultat, welches durch mehrere von Haüy und Tremery angestellte Versuche aufs schönste bekräftiget wird.

Die Halbmesser solcher Röhrchen kann man sehr scharf dadurch bestimmen, daß man sie leer abwägt, hierauf eine beliebig lange Quecksilbersäule hineinbringt, wieder ihr Gewicht bestimmt, und so aus der Differenz beider Resultate das Gewicht p der hineingebrachten Quecksilbersäule findet. Hat die Säule die Länge a, so ist ihr Gewicht $\pi r^2 as = p$, wenn r den Halbmesser des Röhrchens und s das specifische Gewicht des Quecksilbers bedeutet. Mithin ist

$$r = \sqrt{\frac{p}{\pi as}}.$$

Zur Erläuterung des Werthes von b und b' stelle man sich eine krumme Oberfläche eines Körpers, von was immer für einer Gestalt vor, und denke sich durch einen auf ihr gewählten Punkt nach allen Richtungen Ebenen gelegt, die auf der genannten Fläche senkrecht stehen. Da schneidet jede derselben die Fläche in einer krummen Linie, und man kann sich für jede dieser Curven einen Kreis denken, der dieselbe Krümmung hat,

wie ein Element der Curve am Punkte, um den es sich handelt. Der Halbmesser dieses Kreises ist der Krümmungshalbmesser. Man kann beweisen, daß im Allgemeinen die zwei Ebenen, in welchen die Kreise mit der größten und der kleinsten Krümmung liegen, auf einander senkrecht stehen.

175. Diese Theorie läßt sich auch auf Erscheinungen anwenden, die mit denen in Haarröhrchen verwandt sind; ja sie gibt von ihnen nicht bloß allgemeine Erklärungen, sondern bestimmt sie dem Maße nach: Schon Newton hat bemerkt, daß Wasser zwischen zwei nahen, parallelen Wänden nur halb so hoch steigt, als in einem Röhrchen, dessen innerer Durchmesser der Entfernung der Flächen gleich ist, ohne dafür eine Erklärung geben zu können. Nach der vorhin entwickelten Theorie ist die Wirkung eines Haarröhrchens vom obigen Halbmesser gleich $\frac{H}{b}$; für zwei parallele Ebenen (wo $b' = \infty$, weil die Oberfläche der Flüssigkeit längs der Wände nicht gekrümmt ist) $\frac{1}{2} \frac{H}{b}$, gerade so, wie die Erfahrung lehrt. — Mit gleicher Leichtigkeit ersieht man aus der gegebenen Theorie den Grund folgender Erscheinungen: Taucht man ein gläsernes Röhrchen in Weingeist, zieht es dann heraus und hält es vertical, damit sich unten ein Tropfen bilde; so hat die darin befindliche, schwebend erhaltene Säule eine doppelt so große Länge, als diejenige, welche sich im Röhrchen erhebt, wenn es mit einem Ende im Weingeiste stehen bleibt. Gießt man Weingeist in eine heberförmige Röhre, wovon ein Arm ein Haarröhrchen bildet, so steht natürlich die Flüssigkeit in diesem höher, als im anderen weiteren Arme. Neigt man nun die Röhre nach der Seite des Haarröhrchens hin; so nimmt der Höhenunterschied in beiden Armen beständig ab, so wie die flüssige Säule, vermög der Reibung an den Wänden, eine minder concave Oberfläche annimmt. — Stellt man zwei reine Glastafeln unter einem sehr spitzigen Winkel zusammen und tauchet sie so, daß ihre Vereinigungslinie vertical stehet, in Wasser; so erhebt sich dieses, und die Endpunkte der gehobenen Masse bilden eine Hyperbel. Hält man ein conisches, beiderseits offenes Röhrchen so, daß seine Axe horizontal liegt, und läßt bei der größeren Oeffnung eine kleine Säule von Wasser hinein, so bewegt sich diese Säule gegen die kleinere Oeffnung zu, und man muß die Axe des Röhrchens etwas gegen den Horizont neigen, um den Tropfen im Steigen zu hindern. Es läßt sich hier sogar der nöthige Neigungswinkel berechnen. — In die Reihe der Capillaritätsphänomene scheinen auch jene zu gehören, welche Dutrochet mit dem Namen Endosme und Exosme belegt hat, und die im Wesentlichen darin bestehen, daß zwei verschiedene Flüssigkeiten, welche durch eine dünne, durchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Blase, von einander getrennt sind, durch diese Scheidewand in zwei entgegengesetzten Strömen mit einander in Communication treten, so daß eine der zwei Flüssigkeiten, und zwar diejenige, welche in einem Haarröhrchen am meisten gehoben wird, über ihr Niveau emporsteigt. (Du-

trochet in Pogg. Ann. 11. 138, 28. 359. Poisson ebend. 134. Fischer ebend. 126. Schweigger in Schweigg. J. 58. 1. Wach ebend. 58. 20.) — Auch die Wirkung einer Flüssigkeit auf die Wände eines Körpers, der sie einschließt, ergibt sich aus dieser Theorie. Denn sind ACBD (Fig. 54) zwei feste Wände, zwischen welchen eine Flüssigkeit bis PRQ gestiegen ist, während dieselbe außerhalb der Wände bis EF reicht; so ist klar, daß alle Punkte dieser Wände von P bis C und von Q bis D von der Flüssigkeit gleich stark nach entgegengesetzten Seiten gedrückt werden; die Punkte oberhalb P und Q erleiden aber von den Theilen der Flüssigkeit einen Druck gegen einander, ohne von innen durch einen Gegendruck im Gleichgewichte erhalten zu werden. Sind daher diese Wände leicht beweglich, so müssen sie sich einander nähern. Dasselbe muß auch Statt finden, wenn die Flüssigkeit zwischen den Wänden bis IK gestiegen ist, wiewohl man auf den ersten Blick das Gegentheil vermuthen sollte. Die Punkte der Wände von C bis E und von D bis F erleiden zwar nach außen und nach innen einen gleichen Druck, aber jeder Theil derselben oberhalb EF, z. B. a, wird nach innen gedrückt, ohne einen Gegendruck zu erleiden. Denn man denke sich a mit LB durch den Canal ac verbunden, und man wird einsehen, daß c mit der Kraft $\frac{H}{b}$ auswärts gezogen wird (174), welche dem Drucke einer flüssigen Säule von der Länge LS gleich kommt, einwärts hingegen durch den Druck der Säule Lc. Die Resultirende beider ist ein Zug nach auswärts, welcher der Säule $Ls - Lc = Sc$ entspricht. Gleichwie nun ein auf c einwärts ausgeübter Druck einen eben so großen Seitendruck nach der Richtung ca hervorbringt (140), eben so muß der auf c auswärts ausgeübte Druck einen Seitendruck auf a nach der Richtung ac verursachen. Es wird daher a mit einer Kraft einwärts gezogen, welche dem Drucke einer flüssigen Säule von der Länge Sc entspricht. Da dieses eben so mit jedem anderen Punkte der Seitenwand EI der Fall ist, und nur die Intensität, nicht die Richtung der Kraft, von Punkt zu Punkt sich ändert, ferner, da für die Wand FK dasselbe gilt, was von EI bewiesen ist; so müssen beide Wände einen Druck nach einwärts erleiden, und sich daher, wenn sie beweglich sind, einander nähern. Die Capillarität modificirt auch den Druck, welchen schwimmende, aber nicht ganz eingetauchte Körper von der umgebenden Flüssigkeit erleiden; denn es gehen aus der Capillarität zwei horizontal wirkende Kräfte hervor, und suchen eine Bewegung im horizontalen Sinne zu erzeugen. Diese bemerkt man an leichten schwimmenden Körpern, welche in die Nähe des Gefäßrandes kommen. Auch die Bewegung zweier in einer Flüssigkeit schwimmenden Kugeln gehört hierher, die sich anzuziehen scheinen, wenn sie beide von der Flüssigkeit benetzt werden oder beide trocken bleiben, hingegen abzustoßen, wenn eine benetzt wird, die andere nicht.

Auf der Wirkung der Capillarität beruht der starke Zusammenhang zwischen zwei etwas angefeuchteten oder nur angehauchten und dann zusammengeschobenen Glasplatten, oder jener zweier Metallplatten, die

mit flüssigem Fett überstrichen und hierauf der Kälte ausgesetzt werden, damit das Fett stocke (Musschenbroek's Cylinder); ferner das Zusammenbacken feiner, feuchter Erdtheile zu einer soliden Masse (Sandstein), die Schwierigkeit, nasse Papierblättchen von einander zu trennen. Es scheint dieser Umstand überhaupt beim Festwerden der Körper eine große Rolle zu spielen.

176. Aus der Anziehung in Haarröhrchen erklären sich mannigfaltige Erscheinungen, z. B. das Durchseihen der Flüssigkeiten durch poröse, feste Körper, wie Löschpapier, Zucker, Sand; das Walken der Tücher; die Methode, den Meliszucker durch feuchten Thon zu reinigen; das Naßwerden eines ganzen Sandhaufens, der auf feuchtem Boden liegt, oder einer Mauer, die auf feuchtem Grunde steht; das Aufziehen des Weingeistes, Oehles ꝛc. in die Lampendochte; der Nutzen des Papierleimens. Das Wegnehmen eines Tropfens mittelst Löschpapier, das Abwischen des Schweißes mit einem Tuche geschieht durch Capillarität. In die Gefäße organischer Körper kann eine Flüssigkeit durch Capillarität aufgenommen, nicht aber darin in Circulation gesetzt werden. Wie groß die Kraft der Capillarität sey, ersieht man daraus, daß man mittelst derselben Mühlsteine lossprengen kann, daß sich Stricke, die durch bedeutende Gewichte gespannt sind, durch sie verkürzen, wenn sie naß werden ꝛc. (*Théorie de l'action capillaire par M. La Place. Paris*, 1806. Im Auszuge in Gilb. Ann. B. 33. *Nouvelle théorie de l'action capillaire. Par S. D. Poisson. Paris*, 1831. Im Auszuge in Pogg. Ann. 25. 270. Link ebend. 29. 404.)

Sechstes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnsamen Körpern (Aerostatik).

177. Ausdehnsame Körper haben mit den tropfbar flüssigen die absolut leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile gemein, unterscheiden sich aber von ihnen durch ihre Zusammendrückbarkeit und ihr Bestreben, immer ein größeres Volum einzunehmen, d. h. durch ihre Ausdehnsamkeit. Bei ausdehnsamen Körpern hat, wie bei tropfbaren, die abstoßende Kraft der kleinsten Theile das Uebergewicht über ihre anziehende; der Unterschied zwischen beiden liegt nur darin, daß bei tropfbaren die resultirende Abstoßung nur ein kleiner Theil der anziehenden und abstoßenden Kräfte der kleinsten Theile und überhaupt wohl nicht viel größer als das Gewicht der kleinsten Theile ist, während bei ausdehnsamen die Abstoßung ein so entschiedenes Uebergewicht hat, daß die anziehende Kraft dagegen ganz verschwindet, und daß erstere das Gewicht der kleinsten Theile vielfach überwiegt. (Nähere Aufklärung hierüber in der Wärmelehre.) Alle Gesetze des Gleichgewichtes dieser Körper gehen aus dem Verhältnisse ihrer Ausdehnsamkeit zur Schwere und Adhäsion hervor, daher man auch diese Eigen-

schaften und ihr Verhältniß zu einander vor der Erörterung jener Gesetze kennen lernen muß.

A. Schwere und Ausdehnsamkeit der Gase.

178. Wenn man eine etwa drei Fuß lange, einige Linien weite, an einem Ende verschlossene Glasröhre mit Quecksilber füllt, sie dann mit dem Finger verschließt, umwendet und mit dem zugehaltenen Ende vertical in ein anderes Gefäß mit Quecksilber stellt, so sinkt, nachdem man den Finger weggezogen hat, das in der Röhre befindliche Quecksilber ungefähr bis auf 28 Zoll herab und bleibt in dieser Höhe schweben. Daß dieses nicht von einer Adhäsion herrühre, läßt sich schon aus der erhabenen Oberfläche des Quecksilbers im Glase erkennen, ja sogar augenscheinlich zeigen, indem das Quecksilber alsogleich bis zu einer, den hydrostatischen Gesetzen entsprechenden Höhe herabsinkt, sobald man die Röhre oben öffnet. Dasselbe läßt sich auch mit Wasser bewirken, nur ist die Wassersäule 32 Fuß hoch, mithin gerade in dem Verhältnisse größer, in welchem die Dichte des Wassers geringer ist als jene des Quecksilbers. Es muß daher auf das offene Ende der Röhre ein Druck ausgeübt werden, der wohl nur der Luft zugeschrieben werden kann. Die erwähnte Röhre heißt man die Torricellische Röhre, den über dem Quecksilber entstehenden leeren Raum Torricellische Leere, weil Torricelli diesen Versuch zuerst angestellt hat.

Zu diesem Versuche gab eine mißglückte Unternehmung der Brunnengräber Veranlassung, die das Wasser mittelst einer Pumpe über 32 Fuß heben wollten und es nicht vermochten. Dieses würde ihnen gar nicht aufgefallen seyn, wenn man nicht damals der Natur eine Scheu vor dem leeren Raume (horror vacui) zugeschrieben hätte, der doch bei ihrem Versuche zwischen dem Wasser und dem Kolben der Pumpe entstanden war. Sie wendeten sich an den berühmten Galiläi, um in ihrer physikalischen Verlegenheit Rath zu finden, erhielten ihn aber nicht. Erst dessen Schüler Torricelli war es vorbehalten, die wahre Ursache dieser Erscheinung (im Jahre 1643) aufzudecken.

179. Es ist klar, daß die Torricellische Röhre nicht allein den Druck und die Schwere der Luft beweiset, sondern ersteren auch mißt. Deßhalb heißt man eine solche Röhre, wenn sie mit einer Scale versehen ist, welche die Höhe der Quecksilbersäule mißt, Barometer (Druckmesser). Soll ein Barometer gut und zu genauen Beobachtungen brauchbar seyn; so muß die Röhre, wenigstens um das Ende der Quecksilbersäule herum, gleich weit, nicht enger als eine Linie seyn, eine gute in Zoll und Linien eingetheilte Scale, und wo möglich auch einen Nonius haben. Das Quecksilber, welches in die Röhre eingefüllt wird, muß rein und gut ausgetrocknet seyn und in der Röhre selbst so lange gekocht werden, bis sich selbst während des Kochens keine Luftblase mehr zeigt; doch hat man dabei besondere Sorge zu tragen, daß ja während des Kochens kein Quecksilberoxyd entsteht, welches mit dem metallischen Quecksilber eine Masse bildet, die sich an das Glas anhängt und ganz andere Capillaritätsverhältnisse

befolgt, als reines Quecksilber. Es dürfte darum räthlich seyn, in die mit Quecksilber gefüllte, aufgestellte Röhre zu wiederholten Malen eine starke Wasserstoffgasblase aufsteigen zu lassen und sie wieder durch Umkehren der Röhre zu entfernen, damit die rückständige Luft nur aus diesem Gase bestehe, das nicht bloß keine Oxydbildung gestattet, sondern für das etwa schon vorhandene beim Kochen als Reductionsmittel dient. (Zeitschrift 10. 234.)

Das Quecksilber im Barometer nicht zu kochen, wie neuestens wieder empfohlen worden ist, um die Adhäsion desselben an das Glas zu vermeiden, ist nicht gut und ein Rückschritt in der Physik, indem man sich, um einem Fehler auszuweichen, einem größeren Preis gibt. Wenn man zu Barometerröhren sehr hartes Glas wählt, macht die Adhäsion wenig Unsicherheit.

180. Ohne die Künsteleien anzuführen, durch die man Barometer empfindlicher zu machen oder in zierliche Möbel umzustalten suchte, wie man dieses an Huyghen's und Hook's Doppelbarometer, an des letzteren Radbarometer, an Morland's Winkelbarometer, an Bernoulli's rechtwinkeligem Barometer ꝛc. sehen kann, geben wir nur drei verschiedene Formen derselben an. Zum täglichen Gebrauche, wo nicht die größte Genauigkeit nothwendig ist, dient das Barometer mit dem birnförmigen Gefäße A (Fig. 59), welches Gefäß im Verhältnisse zur Röhre weit genug ist, damit beim Steigen und Fallen des Quecksilbers in der Röhre die Veränderungen im Gefäße so klein als möglich ausfallen. Wenn einem auch nicht sehr viel an einer völligen Genauigkeit solcher Barometer liegt, so darf man doch nicht annehmen, daß die Länge der Quecksilbersäule, welche dem Längenunterschiede der Säulen in beiden Armen A und B, nämlich ab gleich ist, das beiläufige Maß des Luftdruckes sey; denn diese Säule ist wegen der Einwirkung der Capillarität zu kurz, und zwar um so mehr, je enger die Röhre B gegen das Gefäß A ist. Laplace hat nach seiner Theorie der Haarröhrchen eine Tafel berechnet, welche die Erniedrigung des Quecksilbers in Röhren von verschiedenem Durchmesser angibt — Zu genaueren Beobachtungen bedient man sich eines Gefäßbarometers, von der Form Fig. 60, wo B wieder die Barometerröhre vorstellt, A aber ein weites, cylindrisches Gefäß, dessen unterer Boden durch eine Schraube a gehoben oder gesenkt werden kann, um dadurch die Oberfläche des Quecksilbers immer in demselben Stande zu erhalten. Gut ist es, die Mündung des Barometerrohres zu verengen und das Ende, woran sie sich befindet, aufwärts zu krümmen, um das Eintreten von Luft in die Röhre zu hindern. Bei täglichen Beobachtungen kann man von den Veränderungen des Quecksilbers im Gefäße A ganz absehen, wenn es weit genug ist; will man aber genaue Resultate erhalten, so muß das Niveau des Quecksilbers daselbst bei jeder Beobachtung den Stand haben, welcher dem Nullpunkte der Scale (mit den nöthigen Correctionen wegen der Capillarität) entspricht. Dieses erhält man, wenn man mittelst der Schraube a das Quecksilber so weit hebt oder senkt, bis dessen Oberfläche an die Spitze eines feinen, eigens ange-

brachten Stiftes reicht, oder bis ein darauf schwimmendes, durch den Deckel der Quecksilberbüchse hervorragendes Stängelchen eine bestimmte Höhe erreicht hat. Fig. 61, a und b stellen diese zwei Einrichtungen der Quecksilberbüchse besonders vor. Erhebt man mittelst der Schraube c den mit Leder gefütterten Boden des Quecksilbergefäßes, bis er an die Glasröhre angepreßt ist (in welcher man vorläufig das Quecksilber durch Neigen bis an die Wölbung steigen gemacht hat), oder wenigstens das Quecksilber in dem Gefäße so einengt, daß es sich nicht bewegen kann; so ist das Instrument gesperrt und zum Transport geeignet. Damit aber die durch Wärme bewirkte Ausdehnung des Quecksilbers im gesperrten Zustande die Röhre nicht sprenge und bei der Zusammenziehung desselben durch Kälte kein leerer Raum entstehe, muß der Boden des Quecksilbergefäßes elastisch seyn, damit er sich immer an das Quecksilber anschließe, wenn es sich zusammenzieht, und ihm auch nachgebe, wenn es sich ausdehnt. Das vollkommenste Barometer ist ohne Zweifel das Fig. 62 abgebildete. Es besteht aus einer heberförmig gebogenen Röhre, wovon der kürzere Schenkel denselben Durchmesser hat, wie der längere dort, wo die Quecksilbersäule spielt. Wenn ein solches Instrument gehörig von Luft gereinigt ist, so gibt ab, als der Höhenunterschied der Quecksilbersäule in den beiden Schenkeln, den Luftdruck an, ohne einer Correction wegen der Capillarität zu bedürfen; denn die Wirkungen der Capillarität sind in beiden Schenkeln einander gleich und entgegengesetzt. Steigt das Quecksilber im längeren Arme, so fällt es im kürzeren und umgekehrt. Es ist zwar die Länge der Quecksilbersäule in dc eben so veränderlich, wie in ab, aber die Größen dieser Veränderungen werden nur dann einander vollkommen gleich seyn, wenn die beiden Schenkel vollkommen gleiche Durchmesser haben, eine Eigenschaft, die man gar selten findet. Wäre diese Eigenschaft leichter zu erhalten, so dürfte man nur die Höhe ab ein- für allemal von a bis b messen, ihr Maß in b verzeichnen und die Veränderungen in b doppelt nehmen, ohne die in c zu berücksichtigen. Um sich aber auf eine so schwer zu erhaltende Sache nicht verlassen zu dürfen, macht man die Röhre beweglich, indem man sie in d an eine Schraubenmutter befestiget, welche durch die am Brete ABCD angebrachte Schraube e gehoben oder gesenkt werden kann. Bevor man die Barometerhöhe beobachtet, schraubt man die Röhre so, daß die Oberfläche des Quecksilbers einem fixen Punkte o entspricht. Mehr hierüber in: Luz vollständige und auf Erfahrung gegründete Beschreibung von Barometern. Nürnberg und Leipzig, 1784; oder in Gehler's phys. Wörterbuche, neu bearbeitet. Art. Barometer. Kupffer in Pogg. Ann. 26. 446. Buff ebend. 31. 266.

181. Da die Quecksilbersäule des Barometers mit dem Luftdruck im Gleichgewichte steht, so muß dieser so groß seyn, wie der Druck einer Quecksilbersäule, deren Höhe der jeweiligen Barometerhöhe und deren Basis der gedrückten Fläche gleich ist. Wegen der großen Höhe der Atmosphäre und der geringen Dichte der Luft darf man auf die Neigung dieser Fläche gegen den Horizont keine Rücksicht nehmen, und

kann den Druck auf eine geneigte Fläche wie den auf eine horizontale berechnen. Man braucht daher zum Behufe dieser Rechnung nur die Größe der gedrückten Fläche und den Barometerstand zu kennen, und zu wissen, daß ein Wiener Kubikfuß Quecksilber bei 0° C. 766.530 W. Pfd., mithin ein K. Z. 14.1950 Loth wiege. Allein für jede andere Temperatur ist dieses Gewicht, mithin auch die Länge der demselben Luftdruck entsprechenden Quecksilbersäule anders, und muß erst vorläufig auf die Normaltemperatur 0° C. reducirt werden. Diese Correction beruht auf der Thatsache, daß sich die Länge einer Quecksilbersäule, die bei 0° C. als Einheit angenommen wird, für jeden Wärmegrad um $^1/_{5550}$ ändere. Heißt daher b die bei t° C. beobachtete und b' die auf 0° reducirte Barometerhöhe, so ist wegen

$$b' + \frac{b't}{5550} = b, \; b' = b : \left(1 + \frac{t}{5550}\right)$$

oder b' nahe gleich $b - \frac{bt}{5550}$, wo t positiv oder negativ zu nehmen ist, je nachdem das Thermometer über oder unter dem Eispunkte steht.

Im Mittel beträgt die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer in Wien 28.409 W. Z. Eine Säule von dieser Höhe und einem Q. Zoll Basis drückt wie ein Gewicht von 12.6 Pfd. Demnach beträgt der Druck, den die Luft auf einen erwachsenen Menschen ausübt, dessen Oberfläche man zu 15 Q. F. annehmen kann, 27225 Pfd. Diesen Druck empfinden wir nicht, weil er von allen Seiten, selbst von innen heraus wirkt, und wir unsern Zustand nicht mit dem, wo dieser Druck fehlt, vergleichen können; selbst kleine Veränderungen dieses Druckes, wie sie oft in der Atmosphäre Statt finden, treten für den gesunden Menschen unbemerkt ein, und geben sich nur bei sehr empfindsamen Individuen durch ein Uebelfinden zu erkennen. Größere Veränderungen, wie sie bei denen eintreten, die von hoch liegenden Gegenden, wo der Luftdruck viel geringer ist, in tiefer liegende kommen, oder umgekehrt, verursachen selbst bei gesunden und kräftigen Individuen ein Uebelbefinden, Mattigkeit und Beklemmung. Der Druck, welchen die atmosphärische Luft auf die ganze Erde ausübt, oder das absolute Gewicht der ganzen Atmosphäre beläuft sich auf 96480 Billionen Zentner W. G.

182. Die Möglichkeit, eine mit Luft gefüllte Blase zusammenzudrücken und ihre schnelle Ausdehnung, wenn der Druck nachläßt, nebst dem Umstande, daß Luft in jeder auch noch so geringen Menge das ganze Gefäß einnimmt, in welches sie eingesperrt ist, beweisen die Ausdehnsamkeit derselben. Da dieses zu allen Zeiten zutrifft, selbst mit Luft, die in verschlossenem Raume aufbewahrt wird, wie Roberval's und Muffchenbroek's Versuche beweisen, wo eine Portion Luft mehrere Jahre hindurch eingesperrt erhalten ward, und man deßhalb gewiß seyn konnte, daß der Versuch genau mit derselben Luft gemacht wurde; so muß diese Ausdehnsamkeit wohl für beständig gelten.

183. Die Ausdehnsamkeit eines Gases hängt von seiner Natur, Dichte und Temperatur ab. Die abstoßende Kraft, mit welcher je zwei Theilchen eines Gases auf einander wirken, d. h. die Expansivkraft desselben, ist bei verschiedenen Gasen, selbst bei glei-

cher Temperatur und Entfernung der Theile von einander, verschieden. Nähert man diese Theilchen einander, d. h. verdichtet man das Gas, oder erwärmt man es; so unterstützt man die abstoßende Kraft und steigert dadurch die Expansivkraft. In welchem Verhältnisse aber die Expansivkraft eines Gases wachse, wenn die Dichte oder Temperatur um eine gewisse Größe zugenommen hat, dieses läßt sich nur aus Versuchen entnehmen.

184. Wenn man in eine gebogene Röhre ABC (Fig. 64), deren kürzerer Schenkel verschlossen ist, Quecksilber gießt, so daß es im längeren bis D, im kürzeren bis E reicht; so erleidet die in EC eingeschlossene Luft einen Druck von der äußeren Luft und von der Quecksilbersäule DF, dem ihre Ausdehnsamkeit nebst ihrem Gewichte das Gleichgewicht hält. Heißt die Barometerhöhe b, die Höhe der Quecksilbersäule DF $= a$; so kann der Druck einer Quecksilbersäule von der Länge $b + a$ als das Maß der Ausdehnsamkeit der Luft in EC angesehen werden, weil das Gewicht derselben unbedeutend ist. Vermehrt man die Quecksilbersäule a langsam und mißt dabei immer den Raum, welchen die Luft EC einnimmt; so lehrt die Erfahrung, daß letzterer in demselben Verhältnisse vermindert wird, in welchem die drückende Kraft, mithin $b + a$ zunimmt, die Luft kann übrigens atmosphärische oder eine andere, oder gar ein Gemisch von mehreren seyn, wenn sie nur vor dem Versuche gut ausgetrocknet wird, und während des Versuches keine Aenderung ihrer Temperatur vorgeht. Ein gleiches Resultat findet man, wenn man die Luft, statt sie zu verdichten, durch Verminderung der drückenden Kraft verdünnt. Man braucht dazu eine etwa 30 Zoll lange Barometerröhre (Fig. 65), die auf einer Seite offen, auf der anderen mit einem Hahne B verschlossen ist, und eine eben so lange zweite, aber viel weitere und unten geschlossene Röhre C. Diese wird zum Theile mit Quecksilber angefüllt und erstere Röhre darein getaucht, nachdem zuvor ihr Hahn geöffnet worden ist. Sobald die Einsenkung auf eine beliebige Tiefe geschehen ist, schließt man den Hahn, und bemerkt das Volum der in der Röhre enthaltenen Luft, die offenbar einen Druck erleidet, dem der jedesmalige Barometerstand b entspricht, hebt sie dann um ein beliebiges Stück aus dem Quecksilber heraus, ohne jedoch ihr Ende über dasselbe hervortreten zu lassen, und mißt den von der Luft eingenommenen Raum wieder. Hat die Quecksilbersäule in der engen Röhre eine Höhe a, so erleidet die Luft darin einen Druck $b - a$, und dieser Druck wird stets dem Luftvolum verkehrt proportionirt gefunden. Dieses Gesetz, welches das Mariotte'sche genannt wird, läßt sich so ausdrücken: Die Dichte der Luft wächst bei übrigens gleichen Umständen im geraden Verhältnisse mit der drückenden Kraft, oder was dasselbe heißt, die Ausdehnsamkeit der Luft ist ihrer Dichte proportionirt. Es hat sich bei der atm. Luft, selbst noch bei einer 27fachen Verdichtung und einer 112fachen Verdünnnung, vollkommen bewährt. (Zeitsch. 8. 114.)

Nach Oersted (Schweigg. J. 45. 352) gilt es nicht bloß für atm. Luft, sondern auch für viele andere Gasarten bis zu einer 66maligen Ver-

dichtung; aber nach Despretz's noch einer weiteren Bestätigung erheischenden Versuchen (Schweigg. J. 51. 108) soll Wasserstoffgas schon bei einer 15maligen, Cyan- und Ammoniakgas, so wie das schwefeligsaure und schwefelwasserstoffsaure Gas bei einer zweifachen Verdichtung von diesem Gesetze abweichen. Wiewohl aber die Grenzen, innerhalb welchen dieses Gesetz für Gase gilt, noch nicht festgesetzt sind, so liegt doch das Daseyn solcher Grenzen in der Natur der Gase. Es ist nämlich sehr wahrscheinlich, daß alle ausdehnsame Körper nur einen gewissen Druck ertragen, ohne tropfbar zu werden. Ueberschreitet man diesen Druck, so kommen sich die Theile des Gases näher, als es mit dem Bestehen seiner Ausdehnsamkeit verträglich ist, es muß ein Theil desselben tropfbar werden, und das Mariottesche Gesetz hört auf, fernerhin giltig zu seyn, weil die Verstärkung der drückenden Kraft keine weitere Verdichtung erzeugt. Dieses hat Oersted erfahren, als er atm. Luft und schwefeligsaures Gas mit einander in Betreff ihres Verhaltens gegen drückende Kräfte verglich. Beide befolgten nur bis zu einer $2^1/_4$maligen Verdichtung einerlei Gang; weiter hinaus wuchs bei demselben Drucke die Dichte der atm. Luft schneller als die des schwefeligsauren Gases, bei einer 3.27maligen Verdichtung war schon die tropfbare Flüssigkeit bemerklich, welche das letztere Gas geliefert hat. Zur Anstellung solcher Versuche eignet sich vorzüglich der oben (144) beschriebene Compressionsapparat, in den man Röhren einsetzt, welche die zu vergleichenden Gase enthalten, und durch Quecksilber gesperrt sind. Eben so kann das Mariottesche Gesetz bei der Verdünnung eines Gases nur so lange Anwendung finden, bis die Ausdehnsamkeit desselben mit der Schwere ins Gleichgewicht getreten ist, indem von diesem Punkte an bei einer ferneren Verminderung der drückenden Kraft keine weitere Ausdehnung des Gases erfolgt.

185. Die Zunahme der Ausdehnsamkeit der Luft durch Erwärmung beweiset das Anschwellen einer mit Luft gefüllten Blase über Kohlenfeuer, und manche andere Erscheinung. Versuche, die dieses zum Zwecke hatten, wurden von Lambert, Dalton, Gay-Lussac, von Dulong und Petit, von Davy und neuerlich von Rudberg mit besonderer Genauigkeit angestellt. Gay-Lussac bediente sich dazu einer wohl ausgetrockneten Thermometerröhre, die dem Raume nach in gleiche Theile getheilt und mit einer Kugel versehen war, deren Kubikinhalt zu jenem der Röhre in einem hinlänglich großen und bekannten Verhältnisse stand. Diese wurde mit der zu prüfenden, gut ausgetrockneten Luft zum Theile angefüllt, durch eine kleine, bewegliche Quecksilbersäule geschlossen, horizontal in ein Wasser- oder Quecksilberbad gelegt, dem man verschiedene Wärmegrade mittheilen konnte, die Größe des Volums der Luft bei jedem Grade gemessen, und zugleich der jedesmalige Barometerstand angemerkt. Die in der Kugel und Röhre eingeschlossene Luft treibt hier, wenn ihre Temperatur steigt, wegen der dadurch herbeigeführten Vergrößerung ihrer Expansivkraft, die kleine Quecksilbersäule gegen das offene Ende der Röhre; in dem Maße aber, als diese Luft ein größeres Volum erhält, nimmt ihre Expansivkraft ab, und sobald diese wieder jener der äußeren Luft gleich geworden ist, bleibt die Quecksilbersäule stehen. Bei eintretender Temperaturverminderung erfolgt das Umgekehrte. Die bei verschiedenen Barometerständen gemessenen Luftvolume können

nach dem Mariotte'schen Gesetze (184) leicht auf die Größen reducirt werden, welche sie gehabt hätten, wenn die Beobachtungen sämmtlich bei einerlei bestimmtem Drucke der äußern Luft angestellt worden wären. Ist nämlich V ein beobachtetes Luftvolum, B der zugehörige Barometerstand, so wird das Volum v dieser Luft bei derselben Temperatur, aber bei dem Barometerstande b, durch die Proportion $v:V = B:b$ gegeben. Aus den Rauminhalten v, v' derselben Luftmasse bei einerlei Druck E und verschiedenen Temperaturen ergibt sich das Verhältniß der Expansivkräfte e, e', welche diese Luft, wenn sie stets dasselbe Volum V beizubehalten genöthigt wäre, bei erwähnten Temperaturen zeigen würde, denn es folgt aus dem Mariotte'schen Gesetze $e:E = v:V$ und $e':E = v':V$, mithin $e:e' = v:v'$. Es sind also die bei einerlei äußerem Drucke und verschiedenen Temperaturen stattfindenden Luftvolume den Expansivkräften, welche der Luft unter einem unveränderlichen Volum, oder was dasselbe heißt, bei einerlei Dichte für diese Temperaturen zukommen, direct proportionirt. Gay-Lussac's sorgfältige Versuche zeigten, daß sowohl atmosphärische Luft, wie auch jedes andere Gas oder Gemenge von Gasen unter constantem Drucke, bei dem Uebergange von einer Temperatur zu einer andern, vorausgesetzt, daß dieselben über dem Condensationspunkte jedes Gases liegen, eine dem ursprünglichen Volum proportionirte Volumsänderung erleiden, und daß diese Volumsänderung bei einerlei Größe des anfänglichen Volums und einerlei Temperaturen für alle Gase gleich groß ist. Ueberdieß fand Gay-Lussac, daß, wenn die Temperaturen mittelst des Quecksilberthermometers bestimmt werden, wenigstens für Temperaturen, welche nicht über den Siedpunkt hinausgehen, die Aenderung des bei 0° C. stattfindenden Volums eines trockenen Gases mit der Temperatur in geradem Verhältnisse steht. — Gay-Lussac gab seinen Beobachtungen zu Folge die Ausdehnung trockener Luft unter constantem Drucke für den Uebergang von 0° zu 100° C., in Theilen des Volums bei 0° C., gleich $0.375 = \frac{3}{8}$ an, wornach die Volumsänderung der Luft für jeden einzelnen Grad der hunderttheiligen Thermometerscale 0.00375 oder nahe $\frac{1}{267}$ des Volums bei 0° C. betragen würde; ein schon von Lambert erhaltenes Resultat, dem Dalton, Dulong und Petit, wie auch Davy beistimmten. Allein die zahlreichen, mit einander sehr gut übereinstimmenden, und wegen der Genauigkeit des Verfahrens ein besonderes Zutrauen verdienenden Versuche, welche Rudberg über diesen Gegenstand auf zwei verschiedene Arten angestellt hat, indem er theils einen dem oben angegebenen Verfahren Gay-Lussac's entgegengesetzten Weg einschlug, nämlich die Volumsverminderung der von der Siedhitze des Wassers bis zum Schmelzpunkte des Eises abgekühlten Luft beobachtete (Pogg. Ann. 41. 271), theils die Vergrößerung der Expansivkraft, welche eine trockene Luftmasse unter demselben Volum durch Erwärmung von 0° bis zur Siedhitze des Wassers zu Theil wird, direct maß (Pogg. Ann. 44. 119), lehrten, daß die Ausdehnung trockener atmosphärischer Luft von 0° bis 100° C. nur 0.364 bis

0.365 ihres Volums bei 0° C. ausmacht, wornach die Volumsänderung derselben für einen Centesimalgrad zwischen 0.00364 und 0.00365 fällt, mithin nahe gleich $^1/_{274}$ gesetzt werden kann, welches Resultat als das zuverläßigere nunmehr an die Stelle des älteren, nach oben genannten Gewährsmännern bisher allgemein angenommenen, gesetzt werden muß. Bezeichnen wir letztere Zahl durch α, nennen wir ferner zwei verschiedene Temperaturen einer Luftmasse nach der Centesimalscale eines Quecksilberthermometers t, t'; die Expansivkräfte, welche derselben dabei unter einer gewissen constanten Dichte zukommen e, e'; das Volum, welches diese Luft bei irgend einem Drucke und der Temperatur 0° C. annehmen würde V, und die Volume derselben bei diesem Drucke und bei den oben genannten Temperaturen v, v'; so ist, in sofern t, t' nicht über 100° C. fallen, nach dem Obigen

$$v = V + \alpha V t = V(1 + \alpha t)$$

$v' = V(1 + \alpha t')$ und $e : e' = v : v'$, mithin $e : e' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha t'$. Hat aber die hier betrachtete Luftmasse, während ihr die Temperaturen t, t' zukommen, verschiedene Dichten d, d', und bezeichnen wir die dabei stattfindenden Expansivkräfte wieder durch e, e', so besteht offenbar die Proportion $e : e' = d(1 + \alpha t) : d'(1 + \alpha t')$.

Rudberg's erstes Verfahren zur Bestimmung des Werthes von α besteht in Folgendem: Eine Glaskugel, etwa 120 bis 150 Gramme Quecksilber fassend und in eine Thermometerröhre auslaufend, welche durch Chlorcalcium wohl getrocknete Luft enthielt, wurde bei bekanntem Barometerstande der Siedhitze des Wassers ausgesetzt, dann die Spitze der Röhre zugeschmolzen und die Kugel gewogen. Hierauf wurde die Röhre in Quecksilber getaucht, durch Abbrechen der Spitze unter Quecksilber geöffnet, die Kugel mittelst schmelzenden Schnees auf 0° erkaltet, die Spitze der Röhre mit Klebwachs unter Quecksilber geschlossen, zugleich der Barometerstand notirt, dann die Höhe, zu welcher das Quecksilber über das die Röhre umgebende Niveau durch den äußern Luftdruck in die Kugel getrieben war, genau gemessen, und die Kugel sammt dem darin befindlichen Quecksilber, nach Absonderung des Wachses, gewogen. Endlich wurde die Kugel sammt Röhre mit Quecksilber gefüllt, durch Auskochen desselben von aller Luft befreit, und während die (zu diesem Behufe vorher umgebogene) Spitze der Röhre in Quecksilber tauchte, auf 0° C. gebracht, so daß das ganze Gefäß mit Quecksilber von der Temperatur 0° C gefüllt war, hierauf dieses wieder der Siedhitze des Wassers ausgesetzt, der Barometerstand beobachtet, und sowohl das während der Erhitzung der Kugel ausgeflossene Quecksilber, wie auch das in der Kugel zurückgebliebene gewogen. Die Temperatur des siedenden Wassers wurde nicht mittelst eines Thermometers gemessen, sondern (nach oben (24) bereits erwähnten und später genauer zu erörternden Gründen) aus dem Barometerstande abgeleitet. Es handelt sich hier, zur Ausmittelung der in der Frage stehenden Ausdehnung der Luft, bloß um die Vergleichung des anfänglichen Volums der heißen Luft mit dem nachherigen der abgekühlten, nachdem beide auf einerlei Druck reducirt worden, was mittelst der beobachteten Barometerstände und der Höhe der in das Gefäß eingetretenen Quecksilbersäule, die von dem gleichzeitigen Barometerstande abzuziehen ist, leicht geschehen kann. Durch das Verhältniß des Gewichtes des Quecksilbers, welches aus der bei 0° C. gefüllten Kugel und Röhre während der Erhitzung abfloß, zu dem To-

talgewichte des Quecksilbers, wird das Verhältniß des Ueberschusses der Ausdehnung des Quecksilbers über jene des Glases zu dem vergrößerten Volum der gesammten Quecksilbermasse, mithin, da die Dilatation des Quecksilbers aus Dulong's und Petit's Versuchen auf das Genaueste bekannt ist, die Dilatation des Glases gegeben. Hierdurch und durch das Verhältniß des Volums der Kugel und Röhre bei 0° C. zu jenem welches die Luft nach der Abkühlung einnahm, welches Verhältniß jenem des Totalgewichtes des Quecksilbers zu dem Unterschiede zwischen diesem und dem Gewichte des in die Kugel während der Abkühlung eingetretenen gleich kommt, hat man alle Daten zur Lösung des Problems. — Das zweite Verfahren gründet sich auf den Gebrauch des Apparates Fig. 66. A ist ein Quecksilberbehälter, jenem eines Gefäßbarometers ähnlich, dessen Volum mittelst der Schraube B, welche den mit Leder gefütterten Boden des Gefäßes hebt und senkt, verengert und erweitert werden kann. In den Deckel des Gefäßes ist sowohl das oben offene Glasrohr CD als auch das Rohr E, welches nach oben durch das engere Rohr FG mit dem cylindrischen Gefäß H in Verbindung steht, eingekittet. In letzterem befindet sich wohl ausgetrocknete Luft, die, wenn der Behälter A und das Rohr CD bis x mit Quecksilber gefüllt ist, und das Gefäß H auf 0° C. erkältet wird, bis a reicht, während E Quecksilber enthält. Erhitzt man die Luft in H mittelst siedenden Wassers, wodurch ihre Expansivkraft wächst, und das Quecksilber in FG herab und in CD hinauf gedrückt wird, so kann man mit Hilfe der Schraube B die Luft auf das frühere Volum zurückdrängen, wobei, wenn das Quecksilber in FG wieder bis a gestellt worden ist, es in CD bis y gestiegen seyn wird. Der Höhenunterschied des Quecksilbers in den Röhren CD und FG wird an einer hiezu angebrachten Scale gemessen. Die Capillardepression des Quecksilbers in FG muß vor der Zusammenstellung des Apparates bestimmt worden seyn. Heißt dieselbe c, ferner der Höhenunterschied des Quecksilberstandes in CD und EF, während H die Temperatur des schmelzenden Schnees hatte, h, und während H den Dämpfen siedenden Wassers ausgesetzt war, h', sind endlich b, b' die gleichzeitigen Barometerstände, so ist das Verhältniß der Expansivkräfte der Luft in beiden Fällen $= b + h - c : b' + h' - c$. Heißt δ die Volumsdilatation des Glases für einen Centesimalgrad, und ist τ die Temperatur der Dämpfe des siedenden Wassers; so ist dasselbe Verhältniß auch

$$= 1 + \delta\tau : 1 + \alpha\tau,$$

woraus $1 + \alpha\tau = \frac{b' + h' - c}{b + h - c}(1 + \delta\tau)$ folgt, mithin α gefunden werden kann.

Wenn es nach dieser Darstellung scheint, als wirkte die Wärme auf ausdehnsame Körper anders als auf feste und tropfbare; so ist dieses doch nicht wirklich der Fall; denn das sinnliche Zeichen dieser Wirkung ist in allen drei Körperformen dasselbe, nämlich Vergrößerung des Volums, während die unmittelbare Wirkung, wovon jene eine bloße Folge ist, in der Vermehrung der abstoßenden Kraft besteht.

186. Der Umstand, daß sich alle Gasarten bei derselben Wärmezunahme um gleiche Theile ihres Volums ausdehnen, zeigt, daß ihre Ausdehnsamkeit reine Wirkung der Wärme sey. Ein Thermometer, dessen Substanz ein Gas ist, wird diesem gemäß einen der Wärme ganz entsprechenden Gang haben müssen. Ein solches Thermometer, welches Luftthermometer heißt, erhält man, wenn man die in einem Gefäße von der Form eines Quecksilberthermometers befindliche

Luft sorgfältig trocknet, und dann in die Röhre eine kurze Quecksilbersäule bringt, durch welche eine die Kugel und einen Theil der Röhre ausfüllende Luftmasse von der äußern Atmosphäre abgesperrt wird, übrigens aber die Röhre offen läßt. Die Quecksilbersäule gibt den Inder ab. Um den Einfluß der Schwere derselben auf die Anzeigen des Instrumentes zu beseitigen, muß die Röhre stets eine horizontale Lage haben. Die Aenderungen der Länge der Quecksilbersäule durch die Wärme kann man als unmerklich betrachten. Da das Volum der abgesperrten Luft nicht bloß von der Temperatur derselben, sondern auch von dem äußeren Luftdrucke abhängt, so muß die Röhre mit einer Volumscale versehen, und bei jeder Beobachtung der Barometerstand mit demjenigen verglichen werden, auf den sich die Bestimmung des Eis- und Siedpunktes bezieht. Die Herstellung der Volumsscale wird sehr erleichtert, wenn die Röhre wohl calibrirt ist. Soll das Instrument zur Angabe sehr verschiedener Temperaturen dienen, so muß auch auf die Dilatation des Glases gesehen werden. Man kann den Eispunkt mit 0 bezeichnen, und zwischen ihm und dem Siedpunkte 100 Grade zählen, oder besser die Scale so einrichten, daß die den einzelnen Temperatursgraden beigesetzten Zahlen sich verhalten wie die Expansivkräfte, welche der Luft unter constanter Dichte bei diesen Temperaturen zukommen, zu welchem Ende man entweder den Eispunkt mit 1000 zu bezeichnen und bis zu dem Siedpunkte 364 Grade zu zählen hat, so daß dem letzteren die Zahl 1364 entspricht, oder auch den Eispunkt mit 274 und den Siedpunkt mit 374 notiren mag, wobei der Fundamentalabstand 100 Grade enthält. Im letzteren Falle beruht die Umwandlung der Angaben dieses Thermometers in jene der gewöhnlichen Centesimalscale, und umgekehrt, auf der bloßen Subtraction und Addition der Zahl 274; im ersteren hingegen hat man, wenn L eine Temperatursangabe nach dem Luftthermometer und C die gleichbedeutende nach der gewöhnlichen hunderttheiligen Scale ist,

$$L = 1000 + 3.64\,C \text{ und } C = \frac{L - 1000}{3.64}.$$

Der Einfluß des atmosphärischen Druckes auf das Luftthermometer läßt sich beseitigen, wenn man die in dem Quecksilbergefäße eines Barometers enthaltene Luft von der äußeren, nachdem man sie wohl getrocknet hat, durch Zuschmelzen des Gefäßes absperrt. Bei dem Gebrauche des Instrumentes, dessen Scale man auf die so eben erklärte Weise einrichtet, hat man jedoch darauf zu sehen, daß die Röhre eine verticale Lage habe, auch darf hier die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme nicht unbeachtet bleiben; endlich können die Aenderungen des Volums der abgesperrten Luft bei verschiedenem Stande des Quecksilbers in der Röhre nur in soferne außer Acht gelassen werden, als der Durchmesser der Quecksilberfläche im Gefäße jenen der Röhre viele Male übertrifft. Daß Rudberg's in 185 beschriebener Apparat auch als Luftthermometer verwendet werden kann, fällt in die Augen.

187. Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, daß ein Luftther-

mometer als Regulator für jedes andere Thermometer anzusehen sey. Das Quecksilberthermometer stimmt mit diesem innerhalb des Fundamentalabstandes vollkommen überein, bei einem Stande des Luftthermometers, welcher — 36° des Quecksilberthermometers entspricht, zeigte ein solches Instrument nach Dulong's und Petit's Versuchen — 36°.11, aber bei Temperaturen, die weit über 100° C. liegen, eilt es dem Luftthermometer viel voraus. Die genannten Physiker fanden, daß ein Quecksilberthermometer 360° zeigte, als es dem Stande des Luftthermometers gemäß hätte 350° zeigen sollen. Demnach ist das Quecksilberthermometer von etwa — 36° bis 100° C. ein vollkommener Temperaturmesser, unter und über dieser Temperatur soll man sich aber des Luftthermometers bedienen, außer man will lieber den scheinbaren Thermometerstand mittelst einer Correction auf den wahren reduciren. (August in Pogg. Ann. 13. 119.)

188. Das vorhin beschriebene, offene Luftthermometer kann zugleich zur Angabe der Dichte der Luft, mithin als Manometer gebraucht werden. Es hat nämlich die darin eingeschlossene atmosphärische Luft einerlei Expansivkraft mit der äußern; haben nun beide einerlei Temperatur, so haben sie auch einerlei Dichte. Versieht man daher dieses Instrument mit einer Scale, der das Volum der Luft bei 0° C. und 0.76 Met. Luftdruck als Einheit zum Grunde liegt; so gibt jedesmal der Bruch, welcher 1 zum Zähler und das Volum der Luft, wie es das Instrument angibt, zum Nenner hat, die gesuchte Dichte der Luft an, in sofern man die Dichte derselben bei 0° C. und 0.76 Met. Druck als Einheit betrachtet. Man kann zur Ersparung jeder Rechnung gleich die einzelnen Grade der Scale statt mit der Volumzahl v, mit der Zahl $\frac{1}{v}$ bezeichnen, und dann die Dichte unmittelbar ablesen.

189. Kleine Aenderungen der Expansivkraft der Luft zeigt Wollaston's Differenzialbarometer an. Dieses ist in Fig. 67 abgebildet, und besteht aus einem Kästchen A, das durch eine Scheidewand in zwei Fächer getheilt wird, deren eines offen ist, und daher mit der äußeren Luft communicirt, das andere aber durch einen Deckel luftdicht geschlossen ist und nur eine offene Seitenröhre hat. In dieses Kästchen ist eine zweischenkelige Glasröhre B so eingekittet, daß ein Schenkel mit dem offenen, der andere mit dem geschlossenen Fache in Verbindung steht. Beide Schenkel enthalten eine 2 — 3 Zoll lange Wassersäule und über derselben eine Oehlsäule, die beiderseits bis ins Gefäß reicht, und den Boden desselben noch ½ Z. hoch deckt. Ist die Wassersäule in beiden Schenkeln und folglich auch das Niveau des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes gleich hoch, so ist das Instrument adjustirt. Bei Gebrauche wird die Röhre der geschlossenen Abtheilung mit dem Raume in Verbindung gebracht, wo die Aenderung der Expansivkraft vor sich gehen soll, und die Bewegung der Wassersäule beobachtet. Dort, wo die Expansivkraft kleiner wird, steigt die Wassersäule und es verkürzet sich die Oehlsäule; die Differenz zwischen dem Drucke einer Wasser- und Oehlsäule, deren jede den ver-

ticalen Abstand der Trennungsflächen dieser Flüssigkeiten in beiden Schenkeln zur Höhe hat, entspricht dieser Abnahme, in soferne man nämlich die Aenderung des Niveaus des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes, wegen der Größe seines Durchmessers im Vergleiche mit der Weite der Röhre als unmerklich betrachten darf. Nähme man statt Oehl und Wasser zwei andere Flüssigkeiten, deren Dichten einander noch näher ständen, so würde das Instrument noch empfindlicher. (Zeitsch. 6. 264.)

190. Dem Vorhergehenden gemäß stehen uns zur Aenderung der Expansivkraft eines Gases zwei Mittel zu Gebote, nämlich Aenderung der Temperatur oder der Dichte. Wie ersteres Mittel anzuwenden sey, ist für sich klar; zur Anwendung des letzteren braucht man meistens ein besonderes, in vielen anderen Beziehungen für den Physiker wichtiges, von Otto Guerike, einem Deutschen, im Jahre 1650 erfundenes Instrument, die Luftpumpe. Die wesentlichen Bestandtheile derselben sind: 1) Ein hohler, inwendig sehr glatter Cylinder A (Fig. 68) von Glas oder Metall (der Stiefel), in dessen Höhlung 2) ein Kolben B luftdicht passet, und mittelst einer Vorrichtung auf und ab bewegt werden kann. An dem Boden ist eine kleine Röhre angesetzt, an deren Ende sich eine wohl abgeschliffene Platte (der Teller) befindet, worauf ein Recipient luftdicht zu stehen kommt. Die kleine Röhre ist 3) mit einem Hahn C versehen, mittelst welchem, nach Verschiedenheit seiner Stellung, vom Cylinder in den Recipienten oder nach außen Luft gelangen kann. Statt des Hahnes hat man nicht selten am Boden des Stiefels und an der Seite desselben ein feines Ventil, wovon sich das erste von außen nach innen, das zweite von innen nach außen öffnet. Man hat Luftpumpen mit einem und mit zwei Stiefeln; diese stehen meistens vertical, selten schief; der Hahn wird in manchem Instrumente mit dem Kolben zugleich in Bewegung gesetzt, bei anderen ist die Bewegung des Hahnes ganz den Händen des Experimentators überlassen.

191. Mittelst der Luftpumpe kann man die in einem Gefäße enthaltene Luft verdünnen oder verdichten. Das dabei nöthige Verfahren gründet sich auf die Ausdehnsamkeit der Luft. Das Verdünnen geschieht auf folgende Art: Man setzt den Recipienten mit der zu verdünnenden Luft luftdicht auf den Teller der Luftpumpe, richtet den Hahn so, daß vom Recipienten Luft in den Cylinder gelangen kann, und zieht den Kolben in die Höhe. Hierauf stellt man durch Drehen des Hahnes die Communication zwischen der äußeren Luft und der inneren im Cylinder her, drückt den Kolben hinab, und wiederholt das ganze Verfahren, so oft man will und es der Zweck erfordert. Soll atm. Luft in einem Gefäße verdichtet werden, so befestigt man letzteres stark und luftdicht auf dem Teller, dreht den Hahn so, daß Luft von außen in den Cylinder dringen kann, und hebt den Kolben, dreht dann den Hahn, um der Luft im Stiefel den Eintritt in den Recipienten zu verschaffen, drückt den Kolben hinab, und wiederholt

dieses Verfahren, so oft man es für nöthig hält, oder es die Festigkeit des Recipienten erlaubt.

192. Sowohl dem Verdünnen als dem Verdichten der Luft durch eine Luftpumpe, die so eingerichtet ist, wie die vorhin beschriebene Hahnluftpumpe, setzt der zwischen dem Boden des Cylinders und dem Hahne befindliche Raum, den man schädlichen Raum nennt, eine Grenze. Da dieser Raum nicht vom Kolben erreicht werden kann, so wird die Luft nur so weit verdünnt werden können, bis ein Volum derselben, das den ganzen Raum ausfüllt, in den schädlichen Raum zusammengedrückt, eine Dichte hat, welche jener der äußeren Luft gleich kommt, weil in diesem Falle beim Hineinstoßen des Kolbens keine Luft aus dem Cylinder mehr getrieben werden kann. Auch die Verdichtung kann nur so weit gebracht werden, bis die im Cylinder enthaltene Masse von der Dichte der äußeren Luft, durch Zusammendrücken in den schädlichen Raum, die Dichte derjenigen erreicht, welche im Recipienten eingeschlossen ist. — Ventilluftpumpen haben zwar keinen schädlichen Raum, aber dagegen den Nachtheil, daß sie nicht zum Verdichten und Verdünnen zugleich gebraucht werden können, und daß man, bei weit fortgeschrittener Verdünnung oder Verdichtung, der Bewegung des Ventils nachhelfen muß, weil selbe die Luft nicht mehr allein bewerkstelligen kann. Durch Bemühungen der Künstler, Luftpumpen ohne schädlichen Raum zu verfertigen, wird dem Uebel am besten abgeholfen.

193. Zum Verdichten der Luft bedient man sich gerne einer sogenannten Compressionspumpe. Sie besteht aus einem hohlen Cylinder (Fig. 69), der in B mit einem Schraubengewinde versehen ist, um ihn an den Recipienten anschrauben zu können. Ober diesem hat er ein Ventil, das sich von innen nach außen öffnet, und nicht weit vom oberen Ende eine Oeffnung C. In die Höhlung des Cylinders paßt der Kolben. Beim Gebrauche befestiget man die Pumpe an den Recipienten, erhebt den Kolben bis über die Oeffnung C, drückt ihn bis zum Boden herab, und wiederholt dieses Verfahren dem Zwecke gemäß. Soll irgend eine andere künstlich erzeugte Luftart verdichtet werden, so braucht man nur an C eine mit dieser Luft gefüllte Blase zu befestigen, und dann wie vorhin zu verfahren.

194. Wie weit die Verdünnung der Luft mittelst der Luftpumpe gediehen sey, erkennt man durch die Barometerprobe, ein kurzes Barometer, welches man unter den Recipienten bringt, wenn es nicht vom Künstler mit der Luftpumpe in Verbindung gebracht ist, wohl auch durch Rechnung.

Die Barometerprobe ist meistens ein kurzes Heberbarometer, wenn es sich um die Prüfung der Verdünnung der Luft handelt. Man beobachtet die Höhe der Quecksilbersäule dieses Barometers, und die eines anderen, welches mit der äußeren Atmosphäre im Gleichgewichte steht. Beträgt jene a, diese b, so ist die Dichte der Luft im Recipienten $\frac{a}{b}$, wenn die der äußeren = 1 gesetzt wird, und innerhalb des Recipienten keine Dünste entstanden sind. Dasselbe Barometer kann auch dazu

dienen, den Grad der Verdichtung zu erkennen, nur muß der geschlossene Schenkel desselben etwas Luft enthalten. Mißt man das Volum derselben vor und nach der Verdichtung, und reducirt letzteres nach dem Mariotte'schen Gesetze auf den ganzen Druck der Luft, so gibt der Quotient des Verhältnisses beider Volume die gesuchte Verdichtung an. — Durch Rechnung findet man die Verdünnung und Verdichtung der Luft, wenn der Rauminhalt des Cylinders und des Recipienten sammt der Anzahl der gemachten Kolbenzüge gegeben ist. Heißt das Volum der Höhlung des Cylinders C, das des Recipienten R, die Dichte der äußeren Luft d, die im Recipienten nach einem Zuge d_1, nach zwei Zügen d_2 u. s. w., nach n Zügen d_n; so hat man für die Operation des Verdünnens, weil die Luft im Recipienten, deren Dichte vor dem nten Kolbenzuge d_{n-1}, deren Masse daher (s. die Formel (1) in 33) $R d_{n-1}$ ist, nach dem nten Zuge das Volum $C + R$ einnimmt, deren Dichte $d_n = \frac{R d_{n-1}}{C + R}$, oder wenn man zur Abkürzung $\frac{R}{C + R} = Q$ setzt, $d_n = Q d_{n-1}$. Nimmt man hier nach und nach $n = 1, 2, 3, \ldots$ u. s. w., so findet man $d_1 = Q d$, $d_2 = Q d_1 = Q^2 d$, $d_3 = Q d_2 = Q^3 d$ u. s. w., und allgemein $d_n = Q^n d = \frac{R^n}{(C + R)^n} d$. Für die Operation des Verdichtens ergibt sich, weil durch n Kolbenzüge zu der den Recipienten anfänglich erfüllenden Luftmasse $R d$ noch nmal die im Cylinder Raum habende $C d$ hinzukommt, mithin der Recipient R die Luftmasse $n C d + R d = (n C + R) d$ faßt, die Dichte derselben

$$d_n = \frac{n C + R}{R} d.$$

Hier wurde der schädliche Raum außer Acht gelassen. Will man auf denselben Rücksicht nehmen, so ist, wenn man dessen Volum durch S bezeichnet, die Luftmenge, welche bei dem Verdünnen nach dem nten Zuge den Raum $C + R + S$ ausfüllt, offenbar $= S d + R d_{n-1}$, mithin deren Dichte $d_n = \frac{S d + R d_{n-1}}{C + R + S}$, oder wenn man zur Abkürzung

$$\frac{R}{C + R + S} = Q \text{ und } \frac{S}{C + R + S} = U \text{ setzt,}$$

$$d_n = U d + Q d_{n-1}. \text{ Für } Q = 1, 2, 3, \ldots$$

wird

$$d_1 = (U + Q) d,$$
$$d_2 = U d + Q d_1 = U d (1 + Q) + Q^2 d,$$
$$d_3 = U d + Q d_2 = U d (1 + Q + Q^2) + Q^3 d \text{ u. s. w.}$$

und allgemein

$$d_n = U d (1 + Q + Q^2 + \ldots + Q^{n-1}) + Q^n d$$
$$= \frac{U d (1 - Q^n)}{1 - Q} + Q^n d$$
$$= \frac{U d}{1 - Q} + \left(1 - \frac{U}{1 - Q}\right) Q^n d, \text{ d. h.}$$
$$d_n = \left(\frac{S}{C + S} + \frac{C}{C + S} Q^n\right) d.$$

Setzt man hier $S = 0$, so ergibt sich der oben gefundene Ausdruck. Für $n = \infty$ wird $d_n = \frac{S}{C + S} d$. Zu der allgemeinen Formel gelangt man sogleich, wenn man bedenkt, daß die Luft im schädlichen Raume in den Cylinder ausgedehnt, die Dichte $\frac{S}{C + S} d$ erhält, daher sie dem

Theile $\frac{RSd}{C+S}$ der Luft im Recipienten das Gleichgewicht hält, und der übrige Theil $Rd - \frac{RSd}{C+S}$ oder $\frac{RCd}{C+S}$, dem in sofern er den Recipienten ausfüllt, die Dichte $\frac{Cd}{C+S}$ zukommt, so verdünnt wird, als wäre kein schädlicher Raum vorhanden, und als hätte der Cylinder das Volum $C+S$. — Wie man bei der Berechnung des Grades der Verdichtung der Luft mit Rücksicht auf den schädlichen Raum zu verfahren habe, bedarf nun keiner weiteren Erklärung. Ueber Luftpumpen handelt sehr ausführlich Gehler's Wörterbuch, neu bearbeitet. Bd. 6. Abth. 1.

195. Mittelst der Luftpumpe läßt sich die Schwere und Ausdehnsamkeit der Luftarten nebst dem Verhältnisse, in welchem beide Eigenschaften zu einander stehen, recht deutlich zeigen: 1) Wenn man ein, mit was immer für einer Luftart gefülltes, gläsernes Gefäß abwägt, hernach die Luft verdünnet und das Gefäß wieder auf die Wage bringt, so findet man es leichter. 2) Der Recipient haftet nach Verdünnung der Luft fest auf dem Teller. 3) Ist er oben mit einer Blase verbunden, so wird dieselbe eingedrückt. 4) Ist er oben mit einem hölzernen Becher versehen, welcher Quecksilber enthält, so wird dieses durch das Holz gedrückt. 5) Metallene hohle Halbkugeln (Magdeburgische Halbkugeln) können nur mit einer bedeutenden Kraft getrennt werden, wenn man in ihnen die Luft verdünnt. 6) Das Quecksilber in einem Barometer fällt in verdünnter Luft nach Maßgabe der Verdünnung. 7) Eine schlaffe, zugebundene Blase schwillt unter dem Recipienten an, wenn man die Luft verdünnt, und hebt ein bedeutendes Gewicht. 8) Der Heronsball springt in verdünnter Luft. 9) Ein schwaches, geschlossenes, mit Luft gefülltes Gefäß zerspringt daselbst. 10) Viele Flüssigkeiten und auch feste Körper geben eine Menge Luft von sich. 11) Ganz ungleichartige Körper, z. B. eine zarte Feder, ein Stück Papier oder Metall fallen gleich schnell.

196. Wie die Erfahrung lehrt, haben Gase von verschiedener materiellen Beschaffenheit bei einerlei Temperatur und unter einerlei äußerem Drucke, d. h. bei einerlei Expansivkraft, verschiedene Dichten. So z. B. ist die Dichte des Wasserstoffgases unter den genannten Umständen 14mal geringer, als die Dichte der atmosphärischen Luft. Werden demnach die Gase auf einerlei Temperatur und Dichte gebracht, so kommen denselben verschiedene Expansivkräfte zu, und zwar zeigt ein Gas eine um so größere Expansivkraft, je geringer seine Dichte in Vergleichung mit der eines andern bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke erscheint. Man schreibt daher jedem Gase eine besondere *specifische* Expansivkraft zu, und setzt dieselbe der Expansivkraft proportional, welche das Gas bei einer festgesetzten Temperatur und Dichte besitzt, oder was dasselbe heißt, man sieht das verkehrte Verhältniß der Dichten zweier Gase bei gleichen Temperaturen und gleichem Drucke als das Verhältniß ihrer specifischen Expansivkräfte an.

Demnach ist die specifische Expansivkraft des Wasserstoffgases 14mal größer als jene der atmosphärischen Luft. Die **absolute** Expansivkraft ist die Expansivkraft eines Gases, ohne Beziehung auf eine bestimmte Dichte und Temperatur. Nennt man die Dichten zweier Gase d, d', ihre Temperaturen nach dem Centesimalthermometer t, t', nach dem Luftthermometer mit der in 186 erklärten Scale T, T', die specifischen Expansivkräfte der Gase, nach einer beliebigen Einheit gemessen, e, e', und ihre absoluten Expansivkräfte E, E', so hat man offenbar $E : E' = d(1 + \alpha t) e : d'(1 + \alpha t') e'$, wobei α die oben (185) angegebene Bedeutung hat, oder wegen $1 + \alpha t : 1 + \alpha t' = T : T'$,

$$E : E' = dTe : d'T'e'.$$

Daß die Verschiedenheit der specifischen Expansivkräfte der Gase auf eine Verschiedenheit der abstoßenden Kräfte hindeutet, welche die Theilchen derselben gegen einander ausüben, ist für sich klar.

B. Specifisches Gewicht der Gase.

197. Um das specifische Gewicht der atm. Luft zu finden, nimmt man einen Ballon, der wenigstens 250—300 Kubikzoll faßt, mit einem Hahne luftdicht verschlossen und an eine gute Luftpumpe angeschraubt werden kann. Nachdem man in demselben die Luft so stark als möglich verdünnt hat, schließt man den Hahn, bringt den Ballon an eine empfindliche Wage, bemerkt sein Gewicht $= P$, öffnet hierauf den Hahn und bestimmt sein Gewicht $= P'$ von Neuem. Setzt man voraus, daß durch die Luftpumpe ein ganz luftleerer Raum erzeugt würde; so ist $P' - P$ das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft. Kennt man nun das Volum V des Ballons; so ist $\frac{P' - P}{V}$ das specifische Gewicht der atm. Luft. Auf diese Weise überzeugte man sich, daß ein Kubikfuß atm. Luft bei 0° C. und einem Luftdrucke von 0.76 Met. 564 Gran W. G., mithin ein Kubikzoll 0.326 Gr. wäge. Es ist daher die atm. Luft bei 0° C. und 0.76 Met. 770mal leichter als Wasser. — Läßt man in den Ballon so, wie er nach Verdünnung der Luft an der Wage hängt und das Gewicht P hat, statt atm. Luft, irgend eine andere Luftart eindringen, und findet wieder das Gewicht $= Q$; so ist $\frac{Q - P}{V}$ das specifische Gewicht des Gases, welches sich im Ballon befindet.

198. Alle diese Versuche setzen voraus, daß die Luftarten ganz rein sind, daß ihre Dichte und die Capacität des Ballons, so wie sein Gewicht in der Luft, unverändert bleiben, und daß mittelst der Luftpumpe ein völlig luftleerer Raum erzeugt werden kann, lauter Dinge, die in der Wirklichkeit nicht Statt finden; denn die Luftarten enthalten immer eine größere oder geringere Menge von Wasserdünsten, die auf ihr specifisches Gewicht einen nicht unbedeutenden Einfluß haben, dieses ändert sich mit dem Drucke der äußeren Luft und mit ihrer Temperatur, letztere hat sogar auf die Capacität des Gefäßes und auf sein Gewicht in der Luft einen Einfluß, der zwar sehr gering ist, und daher manchmal übersehen werden kann, bei sehr genauen Versuchen aber

doch in Anschlag gebracht werden muß. Aus diesen Gründen wählt man zu Versuchen dieser Art nur solche Luft, die vorher gut ausgetrocknet wurde, und arbeitet nur bei einer bestimmten Temperatur und bei einem bestimmten Luftdrucke, oder reducirt die unter anderen Umständen erhaltenen Resultate auf die Normaltemperatur 0° C. und auf den Normaldruck 0,76 Met.

Die Reduction wegen Aenderung des specifischen Gewichtes durch die Wärme und den Luftdruck, als die wichtigste, läßt sich leicht veranstalten. Ist s das specifische Gewicht, welches man bei der Temperatur t und dem Luftdrucke b gefunden hat, s' das auf den normalen Stand der Wärme und Normal-Barometerstand B, in der Regel 0.76 Meter = 28,851 W. Zoll = 28 Z. 10.22 Lin. reducirte; so hat man (185)

$$s : s' = \frac{b}{B(1+\alpha t)} : 1; \text{ daher } s' = \frac{s(1+\alpha t)B}{b}.$$

199. Die Mittel, wodurch man das specifische Gewicht der Gase kennen lernt, führen natürlich auch zur Kenntniß ihrer Dichte. Bei der Bezeichnung dieser Dichte pflegt man zur Vermeidung gar zu langer numerischen Ausdrücke die der atm. Luft gleich 1 zu setzen. Hieraus folgt, für die Dichte d irgend eines Gases, dessen specifisches Gewicht vorher durch $\frac{Q-P}{V}$ ausgedrückt wurde, gemäß der Proportion

$$d : 1 = Q-P : P'-P,$$

$$d = \frac{Q-P}{P'-P}.$$

200. Man kann die Dichte eines Gases auch unmittelbar aus seiner chemischen Zusammensetzung berechnen, wenn die Dichte der Bestandtheile und das Verhältniß, in welchem sie sich zu dem gegebenen Gase verbinden, so wie die etwa bei der Verbindung eintretende Volumveränderung gegeben sind. Gesetzt es bestehe ein Gas aus a Raumtheilen eines Stoffes, dessen Dichte d ist, und aus a' Raumtheilen eines solchen, dessen Dichte d' heißt, mithin im Ganzen aus a + a' Raumtheilen. Da ist nun a d die Masse des einen, a'd' die Masse des anderen Bestandtheiles, a d + a'd' die Masse des Ganzen und $\frac{ad+a'd'}{a+a'}$ die Masse desselben unter dem Volum = 1, also die Dichte des Gases, falls bei der Verbindung der beiden Bestandtheile keine Ausdehnung oder Zusammenziehung erfolgt ist. Findet aber die eine oder die andere Statt, so ändert sich dadurch die Dichte des Gases. Gesetzt es sey bei der chemischen Verbindung der Bestandtheile das Volum a + a' in A übergegangen, und man bezeichnet die Dichte des Gases mit D; so ist

$$D = \frac{ad + a'd'}{A}.$$

Folgende Beispiele mögen zur Erläuterung des Gebrauches dieser Formel dienen: 2 Volume Stickstoffoxydgas (Salpetergas) enthalten 1 Volum Stickgas und 1 Vol. Sauerstoffgas von gleicher Temperatur und Spannung. Die Dichte des Stickgases ist 0.976; die Dichte des Sauerstoffgases 1.1026, wenn die Dichte der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen wird. Es ist also hier

$a = 1,\ d = 0.976,$
$a' = 1,\ d' = 1.1026$ und $A = 2;$

mithin die Dichte des Stickstoffoxydgases

$$D = \frac{ad + a'd'}{A} = 2.0786 : 2 = 1.0393.$$

2 Volume Stickstoffoxydulgas bestehen aus 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerstoffgas. In diesem Falle ist

$a = 2,\ d = 0.976,$
$a' = 1,\ d' = 1.1026$ und $A = 2;$

mithin die Dichte des Stickstoffoxydulgases

$D = 3.0546 : 2 = 1.5273.$

2 Volume Ammoniakgas werden durch Vereinigung von 3 Vol. Wasserstoffgas (dessen Dichte 0.0688 ist) und 1 Vol. Stickgas gebildet. Setzt man

$a = 3,\ d = 0.0688,$
$a' = 1,\ d' = 0.976;$

so folgt hieraus wegen $A = 2$ die Dichte des Ammoniakgases

$D = 1.1824 : 2 = 0.5912.$

Alle diese Resultate stimmen mit den durch directe Wägungen gefundenen gut überein. Auch wenn das Product der Verbindung zweier Gase bei der gewöhnlichen Lufttemperatur nicht gasförmig bleibt, findet obige Formel Anwendung. Nimmt man z. B. an, daß durch Verbrennung von 2 Vol. Wasserstoffgas in 1 Vol. Sauerstoffgas 2 Vol. Wasserdunst gebildet werden, so ergibt sich hiedurch, wegen

$a = 2,\ d = 0.0688,$
$a' = 1,\ d' = 1.1026$ und $A = 2,$

die Dichte des Wasserdunstes $D = 1.2402 : 2 = 0.6201$. Man kann auf diesem Wege umgekehrt aus den Dichten eines zusammengesetzten Gases und eines der Bestandtheile die Dichte des anderen Bestandtheiles berechnen. Man hat dieses Verfahren sogar auf den Fall ausgedehnt, wenn der zweite Bestandtheil des zusammengesetzten Gases ein Stoff ist, der für sich allein nicht luftförmig dargestellt werden kann; z. B. Kohlenstoff, und daraus auf die Dichte geschlossen, welche ein solcher Stoff haben würde, wenn er in Gasform erschiene. Zu diesem Behufe gibt obige Formel

$$d = \frac{AD - ad}{a}.$$

Z. B. Unter der Voraussetzung, daß 2 Vol. Kohlenoxydgas aus 1 Vol. Sauerstoffgas und 1 Vol. Kohlengas zusammengesetzt sind, findet man mit Hilfe der Dichte des Kohlenoxydgases $D = 0.9727$, und jener des Sauerstoffgases $d = 1.1026$, wegen $A = 2$, $a = 1$, $a' = 1$, die Dichte des Kohlengases $d' = 1.9454 - 1.1026 = 0.8428$. Dasselbe Resultat erhält man, wenn man annimmt, daß 1 Vol. Kohlengas mit 2 Vol. Sauerstoffgas 2 Vol. Kohlensäuregas, dessen Dichte $= 1.524$ ist, liefert.

201. Da sich gasförmige Stoffe in einfachen Volumsverhältnissen chemisch verbinden, so stehen die Mischungsgewichte der Stoffe (45) mit den Dichten derselben, wenn sie in Gasform erscheinen, in einem nothwendigen Zusammenhange. In den meisten Fällen kann man die Dichten der Gase einfacher Stoffe ihren Mischungsgewichten proportional setzen; doch ist diese Voraussetzung, wie aus Resultaten erhellet, zu welchen Dumas und Mitscherlich geführt wurden, nicht allgemein zuläßig; denn man fand das Schwefelgas 3mal, das Phosphorgas 2mal dichter als nach erwähnter Annahme. Doch dürfte es erlaubt seyn anzunehmen, daß die Dichte eines Gases, stets ein Viel-

faches oder ein aliquoter Theil des Werthes sey, den man dafür erhält, wenn man zwischen den Dichten und Mischungsgewichten der Stoffe einerlei Verhältniß bestehen läßt. Hiernach kann man aus dem Atomgewichte eines Stoffes die Dichte seines Gases und umgekehrt ableiten.

Da sich 2 Volum Wasserstoffgas und 1 Vol. Sauerstoffgas zu Wasser verbinden, so kann man annehmen, daß 1 Atom Wasser aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff bestehe, zumal, da man noch eine Verbindungsstufe des Wasserstoffes mit dem Sauerstoffe kennt (das Wasserstoffsuperoxyd), in welche nur die Hälfte der Gewichtsmenge des Wasserstoffes eingeht, die mit Sauerstoff Wasser bildet. Bezeichnet man die Atomgewichte des Sauerstoffes und Wasserstoffes mit O und H, und die Dichten des Sauerstoff- und Wasserstoffgases mit d und d′, so kann man setzen $O : H = d : d'$. Nimmt das Atomgewicht des Sauerstoffes als Einheit an, so hat man $O = 1$, und daher $H = \frac{d'}{d}$. Da $d' = 0.0688$ und $d = 1.1026$ ist, so erhält man auf diese Weise $H = 0.062398$. Setzt man aber, wie in der Tabelle S. 29, $O = 100$, so hat man $H = \frac{100d'}{d}$, mithin $H = 6.2398$. Eben so findet man für $O = 100$ das Mischungsgewicht

$$\text{des Stickstoffes } N = \frac{97.6}{1.1026} = 88.518,$$

$$\text{des Kohlenstoffes } C = \frac{84.28}{1.1026} = 76.438 \text{ u. s. w.}$$

Die Dichten der Gase solcher Stoffe, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und Expansivkraft der Luft tropfbar oder fest erscheinen, aber durch Erwärmung Dünste liefern, lassen sich durch wirkliche Wägung (nach später zu erklärenden Methoden) mit einer, wenigstens zur Entscheidung der Frage, ob man diese Dichten den Mischungsgewichten der Stoffe proportional setzen dürfe, hinreichenden Genauigkeit bestimmen. Auf diese Weise hat man z. B. die Dichte des Schwefelgases = 6.654 gefunden. Das Atomgewicht des Schwefels ist $S = 201.16$, wenn $O = 100$ gesetzt wird. Wäre, wenn D die Dichte des Schwefelgases bedeutet, $D : 1.1026 = S : 100$, so ergäbe sich

$$D = 2.0116 \times 1.1026 = 2.218,$$

welches Resultat nur der dritte Theil des wirklichen Werthes dieser Dichte ist. Wollte man aber, um die Gleichheit der Verhältnisse der Dichten und Mischungsgewichte gasförmiger Stoffe aufrecht zu erhalten, das Atomgewicht des Schwefels dreimal höher ansetzen, als es bisher angenommen wurde, und auf ähnliche Weise auch die Atomgewichte der übrigen Stoffe verändern, deren Gase eine obiger Voraussetzung widersprechende Dichte zeigen, so ginge die Einfachheit der chemischen Formeln verloren. — Uebrigens ist leicht einzusehen, wie unter solchen Umständen die auf Mischungsgewichte sich beziehenden Formeln für zusammengesetzte Stoffe, nach Rauminhalten zu übersetzen sind. Z. B. die schwefelige Säure wird durch Verbindung von 1 At. Schwefel mit 2 At. Sauerstoff gebildet; demnach verbinden sich 1 Vol. Schwefelgas mit 6 Vol. Sauerstoffgas zu dieser Säure. Eben so geben 1 Vol. Schwefelgas und 6 Vol. Wasserstoffgas Schwefelwasserstoffsäure. Aus der Thatsache, daß 2 Vol. Schwefelwasserstoffsäuregas in 3 Vol. Sauerstoffgas ohne Rückstand zu schwefeliger Säure und Wasser verbrennen, folgt, daß in beiden vorgenannten Fällen die 7 Gasvolume sich zu 6 Vol. verdichten.

202. Da die Dichten der Gase sich auf einen gleichen Luftdruck und auf gleiche Temperaturen beziehen, so stehen sie im verkehrten Verhältnisse der specifischen Expansivkräfte (196), und man kann letztere leicht aus ersteren finden, wenn man die specifische Expansivkraft irgend eines Gases zur Einheit wählt. In der Regel setzt man die specifische Expansivkraft der atmosphärischen Luft = 1. Da nun auch die Dichte derselben = 1 ist, so hat man, wenn e und d die specifische Expansivkraft und Dichte eines anderen Gases vorstellen,

$$e : 1 = 1 : d; \quad \text{mithin} \quad e = \frac{1}{d}.$$

Folgende Tabelle gibt die Werthe von d und e für einige Gase, wobei jedoch in Betreff der Dichten der Gase den Resultaten einer auf verläßliche Principien gegründeten Rechnung vor den Ergebnissen directer Wägungen, bei welchen die Vermeidung beträchtlicher Fehler in vielen Fällen äußerst schwierig ist, der Vorzug eingeräumt wurde. Die Dichten der leichter condensirbaren Gase, als des schwefligsauren, des Cyangases, erscheinen bei stärkerem Drucke größer, als selbe in der Tabelle angegeben wurden, weil bei stärkerem Drucke diese Gase aufhören dem Mariotte'schen Gesetze zu entsprechen.

Gase.	Dichte.	Specifische Expansivkraft.
Atmosphärische Luft	1.0000	1.0000
Sauerstoffgas	1.1026	0.9069
Stickgas	0.9760	1.0246
Wasserstoffgas	0.0688	14.535
Chlorgas	2.440	0.4098
Stickstoffoxydulgas	1.5273	0.6547
Stickstoffoxydgas	1.0393	0.9621
Ammoniakgas	0.5912	1.6915
Cyangas	1.8188	0.5498
Grubengas	0.559	1.7889
Oehlbildendes Gas	0.9804	1.0200
Kohlenoxydgas	0.9727	1.0281
Chlorkohlenoxydgas	3.4127	0.2930
Schwefligsaures Gas	2.2116	0.4522
Kohlensäuregas	1.5240	0.6562
Salzsäuregas	1.2544	0.7972
Schwefelwasserstoffsäuregas	1.1778	0.8490

C. Gleichgewicht der Gase.

203. Alle jene Gesetze des Gleichgewichtes, welche für Flüssigkeiten überhaupt aufgestellt wurden (140 u. f.), sind natürlich unbeschränkt auf Gase anwendbar, weil diese auch zu den Flüssigkeiten gehören; von denjenigen Gesetzen hingegen, die für tropfbare Flüssigkeiten erwiesen wurden, lassen sich nur jene auf Gase beziehen, die auf der Schwere beruhen und von der Ausdehnsamkeit unabhängig sind.

204. Man denke sich ein Gas in einem Gefäße, und untersuche, Obigem gemäß, die Bedingungen seines Gleichgewichtes, und zwar zuerst für die obersten Theile der Luftmasse. Jedes dieser Theilchen sucht vermöge seiner Schwere zu sinken und vermöge seiner Ausdehnsamkeit sich nach allen Seiten auszudehnen. Dem Bestreben, sich seitwärts und nach abwärts auszudehnen und zu sinken, muß der Widerstand der daneben und unterhalb befindlichen Theile, dem Bestreben sich aufwärts auszudehnen, die Schwere das Gleichgewicht halten. Letzteres kann in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Ausdehnsamkeit der Gase ihre Schwere weit übertrifft, nicht wohl Statt haben, darum lassen sich auch Gase nicht wie tropfbare Flüssigkeiten, in offenen Gefäßen aufbewahren; nur in dem großen Gasmeere, unserer Atmosphäre, ist eine freie Oberfläche mit dem Gleichgewichte verträglich, weil an ihrer äußersten Grenze die Ausdehnsamkeit der Luft sehr gering ist und darum mit der Schwere im Gleichgewichte stehen kann. Auf dieser freien Oberfläche müssen (142) die Richtungen der Schwere senkrecht stehen, und diese daher nahe die Gestalt einer Kugel haben. Daher sagt man, die atm. Luft hülle die Erde wie eine kugelförmige Schale ein. Die Theilchen, welche sich im Inneren eines Gases befinden, werden nicht bloß durch ihre Schwere, sondern auch durch das Gewicht der darüber befindlichen Gassäule abwärts und nach allen Seiten gedrückt, und müssen durch ihre Ausdehnsamkeit und den Widerstand der benachbarten Theile diesem Drucke widerstehen. Solche Theile, welche von dem Erdmittelpunkte gleich weit entfernt sind, werden mit gleichen Kräften abwärts gedrückt, und müssen demnach auch gleiche Expansivkräfte haben. In der Atmosphäre soll, weil der Luftdruck durch die Barometerhöhe angezeigt wird, diesem Gesetze gemäß, an allen Orten, die eine gleiche Entfernung vom Erdmittelpunkte haben, die Barometerhöhe gleich groß seyn. Für nicht weit von einander entfernte Orte findet dieses wirklich Statt; bei größeren Entfernungen verursachen aber die beständigen Strömungen, welche in der Luft Statt finden, nicht unbedeutende Störungen; doch stimmen auch hier die, aus vielen Beobachtungen genommenen, mittleren Barometerhöhen mit einander überein. Der auf ein Gastheilchen nach abwärts wirkende Druck ist offenbar desto größer, je tiefer dieses Theilchen unter der Oberfläche der Gasmasse liegt; darum muß auch die Ausdehnsamkeit, und bei einerlei Temperatur, auch die Dichte derselben von unten nach oben abnehmen. Diese Abnahme der Dichte und des Druckes der Luft ist in der Atmosphäre sehr merklich. Bringt man eine wohl verschlossene, Luft enthaltende, aber schlaffe Blase vom Fuße eines nur mäßig hohen Berges auf den Gipfel desselben; so findet man, daß sie anschwillt. Auch das Barometer sinkt, wenn man es von einem niedriger gelegenen Orte in einen höher gelegenen überträgt.

In der Höhe von etwa 5 Meilen über der Erdoberfläche ist die Luft so sehr verdünnt, wie wir dieses in unseren Laboratorien mit der besten Luftpumpe kaum bewerkstelligen können; selbst auf hohen Bergen hat sie schon eine für die Lebensfunctionen des Menschen zu geringe Dichte.

Kommt man in die Höhe von 1500 W. K. und darüber, so stellet sich eine ungewöhnliche Müdigkeit ein, man muß fast alle hundert Schritte einige Minuten ausruhen; dazu gesellt sich ein lästiges Ohrenstechen, man nimmt wahr, daß aus den Ohren von Zeit zu Zeit Luftbläschen entweichen, man hört kaum 10 Schritte weit, das Athmen wird beschwerlich, der Puls schlägt schnell, oft tritt sogar Neigung zum Erbrechen ein, selbst Wunden heilen langsamer und Arzneimittel wirken schwächer. — Der mittlere Barometerstand, d. h. derjenige, welcher sich aus sehr vielen Beobachtungen im Durchschnitte ergibt, beträgt an der Meeresfläche 28.895 W. Z., auf der Wiener Sternwarte (85 Klafter höher) 28.315 Z.; auf der Spitze des Montblanc fand ihn Saussure 16.108 P. Z. Parrot am Ararat 16.06 Z. Von der Meeresfläche an, muß man 72½ Fuß steigen, um das Barometer um 1 Linie fallen zu machen.

205. Die nach oben zu immer abnehmende Dichte der Luft verursacht, daß der Druck einer Luftsäule nicht, wie bei tropfbaren Körpern, im einfachen verkehrten Verhältnisse mit der Entfernung von einer bestimmten Horizontalebene abnimmt, sondern daß diese Abnahme in einer geometrischen Progression geschieht, während die Entfernungen von dieser Ebene eine arithmetische Reihe bilden. Es sey eine zwischen den verticalen Ax und By (Fig. 70) befindliche Luftsäule durch die Horizontalebenen AB, CD, EF, GH, IK in gleiche Schichten getheilt, die eine so geringe Höhe haben, daß man die Dichte in jeder einzelnen Schichte für gleichförmig halten kann. Es habe diese Luft in der n^{ten} Schichte die Dichte d_n, das Gewicht p_n, und erleide von der darüber befindlichen Luftsäule den Druck P_n, wo n eine Zahl ist, welche die Schichte angibt, für welche diese Größen gelten, so daß d_1, d_2 ... p_1, p_2 ... P_1, P_2 ... sich auf die erste, zweite ꝛc. Schichte beziehen. Der Druck auf die Basis AB wird demnach durch P_0 ausgedrückt. Da ist nun

$p_1 : p_n = d_1 : d_n$ und $P_1 : P_n = d_1 : d_n$, mithin auch
$p_1 : p_n = P_1 : P_n$ oder $p_1 : P_1 = p_n : P_n$, woraus man erhält
$P_1 + p_1 : P_1 = P_n + p_n : P_n$. Es ist aber
$P_1 + p_1 = P_0$, $P_n + p_n = P_{n-1}$, mithin auch
$P_0 : P_1 = P_{n-1} : P_n$, und daher $P_n = \frac{P_1}{P_0} . P_{n-1}$.

Setzt man für n successive 1, 2, 3 ꝛc., und nennt der Kürze halber $\frac{P_1}{P_0} = Q$, so erhält man die Werthe $P_1 = Q . P_0$, $P_2 = Q . P_1 = Q^2 . P_0$, $P_3 = Q . P_2 = Q^3 . P_0$ u. s. f. Es sind also P_0, P_1, P_2, P_3 ꝛc. Glieder einer geometrischen Reihe, während die Höhen o, AC, AE, AG ꝛc. zu einer arithmetischen gehören. Dieses Gesetz wird in der Wirklichkeit immer dann Statt haben, wenn die Wärme aller Luftschichten dieselbe ist, die Schwere auf alle gleich stark wirkt, und das Mariotte'sche Gesetz für jeden hier vorkommenden Grad der Luftdichte giltig ist. So wie es sich mit einem dieser Punkte anders verhält, muß auch das genannte Gesetz anders ausfallen.

206. Die Gesetze des Gleichgewichtes ausdehnsamer und in dieselben getauchter, fester oder tropfbarer Körper stimmen mit jenen genau

überein, welche zwischen tropfbaren und darin befindlichen, festen Massen aufgestellt worden sind. Es verliert ein Körper in einem Gase so viel von seinem Gewichte, als die verdrängte Gasmasse wiegt. Dieses hat auf die Gewichtsbestimmung der Körper Einfluß. Man findet nämlich beim Abwägen eines Körpers in der Luft nur dann sein absolutes Gewicht richtig, wenn er mit dem Gegengewichte von gleicher Dichte ist. Hat er eine größere oder kleinere Dichte, so findet man jenes Gewicht um so viel zu groß oder zu klein, als das Gewicht der Luft unter einem Volum beträgt, welches dem Unterschiede der Rauminhalte des abzuwägenden Körpers und des angewendeten Gewichtes gleich ist. In den meisten Fällen braucht man deßwegen keine Correction anzubringen; findet man sie nöthig, so ist aus dem Vorhergehenden leicht ersichtlich, auf welche Weise sie zu machen sey. — Auf demselben Gesetze beruht auch das Wagmanometer, ein Instrument, welches die Zu- und Abnahme der Dichte der Luft anzeigt, und eigentlich aus einer Wage besteht, an der ein Gewicht von sehr dichtem Materiale mit einer hohlen, luftleeren Kugel bei der mittleren Dichte der Luft im Gleichgewichte steht. Sobald die Luft dünner wird, muß die Kugel sinken, weil ihr Gewichtsverlust minder bedeutend wird, als der ihres Gegengewichtes; sobald die Luft dichter wird, muß die Kugel steigen. Es ist leicht eine Einrichtung denkbar, wodurch man in den Stand gesetzt wird, aus dem Stande des Manometers auf das specifische Gewicht der Luft schließen zu können. Otto Guerike hat dieses Instrument erfunden, Fouchy und Gerstner haben es bedeutend verbessert. (Gerstner's Luftwage in den Beobachtungen auf Reisen nach dem Riesengebirge. Dresden 1791. Gerstner's Mechanik. Bd. 3.) Eine nothwendige Folge desselben Gesetzes ist auch, daß jeder Körper, der weniger wiegt, als ein gleiches Volum Luft, in dieser aufsteigen muß. Hierauf gründet sich das Steigen der mit erwärmter atm. Luft oder mit Wasserstoffgas gefüllten Luftballone. Diese verhalten sich gegen die Luft, wie z. B. Korkholz gegen Wasser, nur mit dem Unterschiede, daß sie nicht bis zum Ende der Atmosphäre steigen können, weil sie in immer dünnere Luftschichten kommen, so daß sie nothwendig einmal eine erreichen, deren specifisches Gewicht dem des Ballons gleich kommt.

Der Luftballon wurde im Jahre 1783 zu Annonay von den Brüdern Mongolfier erfunden. Sie ließen am 5. Juli desselben Jahres einen Ballon von Leinwand und Papier, der 110 Fuß im Umfange hatte, steigen, indem sie ihn durch erwärmte Luft auftrieben. Er stieg auf eine Höhe von 6000 Fuß. Bald darauf sendeten die Herren Robert und Charles zu Paris eine ähnliche, mit Wasserstoffgas gefüllte, taffetene Kugel gegen Himmel. Pilatre de Rozier und Marquis d'Arlande haben sich zuerst diesem gefährlichen Fahrzeuge anvertraut, unter einem solchen Enthusiasmus der Pariser, daß es kaum begreiflich wird, wie noch eine Zeit kommen konnte, wo das Steigen eines Luftballons fast nicht mehr Aufsehen macht, als das Fallen einer Sternschnuppe. — Heut zu Tage verfertiget man die Luftballone aus Taffet, der zuerst gehörig zugeschnitten, dann mit einem Firniß aus Leinöhl, Vogelleim und Terpentinöhl überstrichen wird. Die Stücke

werden zusammengenäht, und die Nähte mit demselben Firniß überzogen. Der kleinste kugelförmige Taffetballon muß 3 Fuß 4 Linien im Durchmesser haben, einer aus Goldschlägerhäutchen steigt schon, wenn er sechs Zoll im Durchmesser hat. Garnerin's Luftballon hatte 80 Fuß im größten, 25 F. im kleinsten Durchmesser, und faßte daher 10,400 K. F., trieb mithin unten 950 Pfund Luft aus ihrer Stelle. Er faßte aber etwa 160 Pfund Hydrogengas und mochte an Zeug 270 Pfund wiegen; es blieb ihm also eine Steigkraft von 520 Pfund. Neuerlich hat der durch seine zahlreichen und kühnen Fahrten ausgezeichnete englische Luftschiffer Green mit bedeutendem Vortheile das bei der Destillation der Steinkohle sich entwickelnde (auch als Beleuchtungsmaterial dienende) Gas statt des Wasserstoffgases zur Füllung der Luftballone angewendet.

Siehe hierüber: Geschichte der Aërostatik. Straßburg 1784. Anhang zur Geschichte der Aërostatik. Straßburg 1786. Zachariä, Elemente der Luftschwimmkunst. Wittenberg 1807. Theorie der Aëronautik von C. Laczynski. Mohrungen 1833.

207. Zwei Gase, welche durch eine bewegliche aber undurchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Wasser-, Oehl- oder Quecksilbersäule getrennt sind, stehen im Gleichgewichte, wenn sie mit gleichen und entgegengesetzten Kräften unmittelbar auf die Scheidewand, und daher mittelbar auf einander wirken. Es muß demnach jede Veränderung in der Ausdehnsamkeit des einen Gases eine ähnliche im anderen hervorbringen. Ein Gas, das auf gewöhnliche Art in einem mit Flüssigkeit abgesperrten Recipienten aufbewahrt wird, steht mit der Atmosphäre im Gleichgewichte; doch wirket diese nur dann mit ihrem ganzen Drucke auf das Gas, wenn die Sperrflüssigkeit innerhalb und außerhalb des Recipienten gleich hoch steht. Oft steht diese innerhalb des Recipienten höher, als außerhalb desselben; in diesem Falle hat das Gas nur einen Theil des ganzen Luftdruckes zu ertragen. Es sey a der Höhenunterschied zwischen dem Stande der äußeren und inneren Flüssigkeit, auf Quecksilber reducirt, b der äußere Barometerstand und v das Volum des Gases im Recipienten. Wird dieses auf den ganzen Luftdruck reducirt, so geht es in v' über, und man hat:

$$v : v' = b : b - a, \text{ d. i. } v' = \frac{b-a}{b} \cdot v.$$

Aus dem hier erwähnten Gesetze erklären sich auch: Die Wirkung des Stechhebers, des gekrümmten Hebers, der Sicherheitsröhren, Gasometer, Blasbälge, des Heronsballes, des Heronsbrunnens, der Saug- und Druckpumpen, der Feuerspritzen, die Wirkungen der Windbüchse, das Saugen, Trinken, Tabakrauchen, und eine ungemeine Menge physikalischer Spielwerkzeuge, z. B. das magische Tintenfaß, der magische Trichter, der Oehlkrug der Witwe, das Sieb der Vestalin, der Zauberbrunnen, die schwimmende Fontaine, der Storch und die Schlange u. dgl. m. (Letztere findet man größtentheils in *Wolfii Elementa Matheseos. Gen.* 1746. *Tom.* 2. Oder in den Erinnerungen aus Lichtenberg's Vorlesungen von Gamauf. Wien. 2. Bd. S. 15—22.) — Der Stechheber ist eine wenige Fuß lange, beiderseits offene und in der Mitte bedeutend erweiterte Röhre, mittelst der man Flüssigkeiten aus Fässern heraushebt. Man taucht die Röhre in die

Flüssigkeit, und saugt am äußeren Ende, schließt dann das letztere, und zieht die Röhre sammt Inhalt aus der Flüssigkeit (Fig. 71). — Der *gekrümmte Heber* ist eine unter 32 Fuß lange, gebogene Röhre, wovon ein Schenkel länger ist als der andere (Fig. 72 und 73). Füllt man eine solche Röhre mit einer Flüssigkeit, z. B. Wasser, und wendet sie dann um, so fließt dieses gänzlich durch den längeren Schenkel heraus. Dieses Phänomen beruht auf dem Drucke des Wassers und der Luft. Das Wasser drückt nämlich abwärts, im längeren Schenkel mit einer Kraft $= P$, im kürzeren aber mit einer Kraft $= p$, und es ist $P > p$. Die Luft drückt aufwärts, im ersteren Schenkel mit einer Kraft Q, im zweiten mit der Kraft q, und man kann immer setzen $Q = q$. Es ist stets aber $Q > P$ und desto mehr $Q > p$ und man hat als Resultirende beider Kräfte am längeren Arm $Q - P$, am kürzeren $q - p$, und beide dieser Kräfte sind aufwärts gerichtet. Es ist aber $Q - P < q - p$, mithin wirkt die Resultirende aus $Q - P$ und $q - p$ am längeren Schenkel abwärts. — Eine *Sicherheitsröhre* nennt man eine beiderseits offene Röhre, die man an einem Gasrecipienten anbringt, um den Grad der Ausdehnsamkeit des darin befindlichen Gases zu erkennen, und dem Zerspringen des Gefäßes vorbeugen zu können. Es sey A (Fig. 74) eine Flasche, die zum Theil mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit, zum Theil mit Gas gefüllt ist, und a die Sicherheitsröhre, welche bis nahe an den Boden der Flasche reicht. Hat das Gas eine mit der äußeren Luft gleiche Expansivkraft, so wird auch die Flüssigkeit in der Flasche und in der Röhre gleich hoch stehen; so wie aber die des Gases zunimmt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre, bis ihr Druck der flüssigen Säule, verstärkt durch den äußeren Luftdruck, das Gleichgewicht hält. Man wird daher aus den Veränderungen des Standes der Flüssigkeit in der Röhre wahrnehmen können, ob Gas absorbirt wird, oder ob neues hinzukommt, vorausgesetzt, daß Temperatur und Luftdruck beständig bleiben. Damit eine solche Röhre bei einer mäßigen Länge doch viel Flüssigkeit fasse, und diese das Gas doch nicht zu stark zurückdrücke, biegt man sie, und bringt an gewissen Stellen kugelförmige Erweiterungen an. Eine solche Röhre, wie B, heißt eine *Welter*'sche Sicherheitsröhre. — *Gasometer* nennt man jene luftdichten Gefäße, aus denen man ein Gas in einem regelmäßigen Strome in ein anderes hinüberleiten kann. Es sey A (Fig. 75) ein oben offenes Gefäß, das Wasser oder Quecksilber ꝛc. enthält, und B ein anderes kleineres darüber gestürztes, dessen Gewicht so eingerichtet ist, daß es in der Flüssigkeit, welche A enthält, untertaucht. Enthält nun B ein Gas, und hat A eine nach außen communicirende Röhre C; so wird dieses Gas durch den Druck des oberen Gefäßes durch die Röhre herausgetrieben. Um einen gleichförmigen Gasstrom zu erhalten, braucht man ziemlich complicirte Einrichtungen an B. (*Zenneck*'s Myzogasometer in Zeitsch. II. 256.) — Ein *Blasbalg* ist ein luftdichter, lederner oder hölzerner Kasten, dessen innerer Raum sich vergrößern und verkleinern läßt, und beim Erweitern durch eine enge Oeffnung Luft schöpft, die er beim Verkleinern durch eine andere Oeffnung entweichen läßt. — Der *Heronsball* (Fig. 76) ist ein Gefäß, das mit einer engen, offenen, bis an den Boden reichenden Röhre versehen, übrigens aber luftdicht verschlossen ist. Füllt man es zum Theil mit Wasser, und verdichtet dann die innere Luft, so springt ersteres durch die Röhre heraus. — Der *Heronsbrunnen* (Fig. 77) ist ein Heronsball, der mit einem anderen, luftdichten Gefäße mittelst zwei Röhren verbunden ist, wovon die eine am oberen Boden des Heronsballs aufhört, während die andere durch den ganzen Heronsball geht, mit dem einen Ende bis an den unteren

Boden des unteren Gefäßes reicht, und mit dem anderen sich nach außen in einen über dem oberen Gefäße befindlichen tellerartigen Aufsatz öffnet. Enthält dieser Wasser, so fließt es durch die letztgenannte Röhre ins untere Gefäß, vertreibt daraus die Luft, die nun in den Heronsball kommt, und daselbst ein Hervorspringen des Wassers bewirkt, das sich in dem oberen Teller sammelt, und dann in das untere Gefäß abfließt. Dieß geht so lange fort, als noch im Heronsballe Wasser vorhanden ist. Wird das Ausflußrohr des Heronsballes nach oben verlängert, so steigt das Wasser darin so weit empor, daß die Höhe der gehobenen Säule jener der drückenden gleich kommt. Die zwischen beiden Wassersäulen enthaltene Luft dient dann bloß als Fortpflanzungsmittel des Druckes. — Eine Saugpumpe (Fig. 78) besteht aus einer höchstens 28 Fuß langen Röhre a (Saugröhre), deren unteres Ende in das zu hebende Wasser getaucht ist, während das obere b mit einem hohlen Cylinder (Stiefel) in Verbindung steht, in welchem ein Kolben luftdicht auf und ab bewegt werden kann. Wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden ist, hat letzterer ein Ventil c, das sich von unten nach oben öffnet; ein ähnlich eingerichtetes hat auch der Kolben d. Durch das Aufziehen des Kolbens wird die Luft im Stiefel verdünnt. Dieses macht, daß die Luft in der Saugröhre das Bodenventil hebt, und zum Theil in den Stiefel tritt; beim Hinabdrücken des Kolbens steigt sie über sein Ventil und kommt ins Freie. Mit dieser Luftverdünnung in der Saugröhre steht das Steigen des Wassers in Verbindung. Durch wiederholtes Kolbenspiel tritt es über das Bodenventil in den Stiefel und endlich gar über den Kolben bis zur Ausgußröhre e. — Die Druckpumpe (Fig. 79) hat einen Stiefel mit einem Bodenventil a, das sich von unten nach oben öffnet, und einen luftdicht schließenden, beweglichen Kolben b. An der Seite des Stiefels befindet sich eine aufwärts gekrümmte Röhre c (Steigröhre) mit einem Ventile d, das sich von innen nach außen öffnet. Wenn beim Heben des Kolbens und der dadurch bewirkten Luftverdünnung das Wasser in den Stiefel gestiegen ist, so wird es beim Herabdrücken des Kolbens in die Steigröhre getrieben, und weil das Ventil es nicht mehr zurückläßt, selbst wenn der Kolben gehoben wird, so kommt es mit jedem Kolbenstoße höher zu stehen, und gelangt endlich gar zur Ausgußöffnung e. — Die Feuerspritze (Fig. 80) besteht gewöhnlich aus zwei Druckpumpen a, a, die das Wasser in einen Heronsball b pumpen, aus welchem es mittelst eines beweglichen Rohres oder eines Schlauches (Schlange) hervorspritzt. — Die Windbüchse (Fig. 81) besteht aus einem sehr starken metallenen Gefäße a (Flasche), in welchem die Luft stark (etwa 60mal) verdichtet worden ist, und das durch eine Klappe verschlossen wird, die sich von außen nach innen öffnet. An die Flasche ist das Rohr b angesetzt, aus welchem eine Kugel ausgeschossen werden kann, wenn durch einen Stoß die Klappe der Flasche geöffnet wird.

208. Ist die Scheidewand, welche zwei Gase von einander trennt, für dieselben undurchdringlich, wie z. B. thierische Blasen, Holz, gebrannter, aber nicht glasirter Thon, gebrannter, in Wasser abgerührter und hierauf getrockneter Gips ꝛc.; so dringen von jedem Gase Volume durch die Wand, welche sich (nach Graham) umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichte der Gase verhalten, vorausgesetzt, daß die Gase nicht chemisch auf einander wirken und ihr Druck zu beiden Seiten der Scheidewand während des ganzen Verlaufes gleich groß erhalten wird. Wenn von jedem der zwei Gase ein diesem Ge-

setze entsprechender Theil durch die Scheidewand gegangen ist, herrscht Gleichgewicht. Dieses tritt aber schon früher ein, und die Strömung der Gase durch die Scheidewand hört auf, wenn der Druck auf letztere nicht von beiden Seiten gleich erhalten wird.

Versuche über diesen Gegenstand stellt man am leichtesten an, indem man ein beiderseits offenes Glasrohr mit einer Blase verbindet, oder noch besser es mit einem Stöpsel von gebranntem, mit Wasser angemachten und dann in der Luft gut getrockneten Gips versicht, ein Gas einfüllt, es durch Wasser sperrt, und das Ganze sammt der Sperrflüssigkeit in ein Gefäß bringt, welches das zweite Gas enthält, so daß beide Gase durch die Sperrflüssigkeit und durch die poröse Scheidewand von einander getrennt sind. Bei Versuchen mit irgend einem Gase und atm. Luft kann der zweite Recipient wegbleiben. Während des Versuches muß die Sperrflüssigkeit sorgfältig regulirt werden, damit sie immer in beiden Gefäßen gleich hoch stehe. Ist das in der Röhre befindliche Gasvolum stationär geworden, so theilt man den Rauminhalt des entwichenen Gases durch jenen des dafür eingetretenen, und erhält so den Diffusionsquotienten; Graham fand denselben für Hydrogengas und atm. Luft im Durchschnitte aus 5 Versuchen = 3.848. Wird die Dichte des Hydrogengases 0.0688 gesetzt, so erhält man, obigem Gesetze gemäß, für diesen Quotienten 3.8125. (Pogg. Ann. 17. 341; 28. 331; Schweigg. J. 57. 215. Zeitsch. 8. 9.)

209. Steht ein Gemenge aus a Theilen atm. Luft und h Theilen eines anderen Gases, z. B. Hydrogengas, mit dem Drucke der Atm. im Gleichgewichte; so ist der Druck des Hydrogengases nach auswärts $= \frac{h}{a+h}$ und jener der inneren atm. Luft $= \frac{a}{a+h}$, vorausgesetzt, daß der äußere Luftdruck = 1 gesetzt wird. Ist nun dieses Gemenge durch eine poröse Scheidewand von der atm. Luft getrennt, so übersteigt das Bestreben der äußeren Luft, in das Gemenge einzudringen, jenes der inneren, auswärts zu gehen, um die Größe $1 - \frac{a}{a+h} = \frac{h}{a+h}$, also gerade um so viel, als das Hydrogengas auswärts strebt. Dieses Gesetz gilt für unbestimmte Werthe von a und h. Wirkte nun ein Gas auf ein anderes, so würde bei jedem Mengungsverhältnisse Gleichgewicht herrschen; da dieses aber nicht der Fall ist, sondern ein Gas in den Raum eines anderen eindringt, so folgt daraus, was Dalton zuerst behauptet hat, daß Gase, die sich nicht chemisch verwandt sind, auf einander nicht wirken. Bringt man daher in den Raum, den ein Gas bereits einnimmt, ein anderes, so wird ersteres für jedes Theilchen des letzteren nichts als eine höchst poröse, nach allen Richtungen gleich durchdringliche Scheidewand, und die Verbreitung des einen Gases im anderen muß, wenn nicht äußere Kräfte einwirken, in allen Richtungen nach demselben Gesetze erfolgen, und das Gleichgewicht kann erst dann hergestellt seyn, wenn beide Gase gleichförmig mit einander gemengt sind. Zwischen der Verbreitung eines Gases im leeren Raume und der in einem anderen Gase gibt es keinen anderen Unterschied, als daß dieselbe im ersteren Falle schneller vor sich geht, etwa so, wie Wasser in einem offenen Rinnsale schneller fortkommt als in

einem mit Sand gefüllten. Der vereinte Druck aller in einem Gemenge enthaltenen Gase auf die Scheidewand ist im Stande des Gleichgewichts dem Gegendrucke der Atmosphäre gleich. Füllt man in einen schon von einem Gase occupirten Raum ein zweites Gas ein, so wächst das Gasvolum nur darum, weil beide Gase zusammenwirken, dem äußeren Drucke das Gleichgewicht zu halten, und daher der Druck auf jedes einzelne vermindert ist.

210. Zwischen Gasen und festen und tropfbaren Körpern findet eben so eine Adhäsion Statt, wie zwischen festen und tropfbaren (149), denn wie wäre sonst erklärbar, daß Luft so hartnäckig an Glas haftet, und nur durch große Hitze vertrieben werden kann, was man besonders beim Auskochen der Barometer erfährt. An der Oberfläche eines jeden festen Körpers ist eine Schichte von dem Gase, das ihn umgibt, verdichtet, und kann zunächst am Körper sogar tropfbar seyn, wenn dazu überhaupt ein mäßiger Druck hinreicht. Die Menge der so verdichteten Luft muß sich natürlich nach der Adhäsion, die zwischen dem Körper und dem Gase Statt findet, und nach der Größe der Oberfläche richten. Poröse oder gepulverte Körper bieten selbst bei einer kleinen Masse einem Gase eine sehr große Oberfläche dar (die Oberfläche aller Poren eines Stückes Holzkohle von der Größe eines Kubikzolls kann über 100 Q. Fuß betragen); findet nun zwischen einem Gase und einem solchen Körper eine Adhäsion Statt, so muß letzterer eine gewisse Menge dieses Gases absorbiren. Man bemerkt dieses in der That an frisch geglühter und in Quecksilber abgelöschter Kohle, an porösem Holz, Meerschaum, Wollen- und Seidenzeugen, an Platinpulver (Platinschwamm) und an vielen Flüssigkeiten. Ein so absorbirtes Gas steht nach denselben Gesetzen mit dem freien im Gleichgewichte, an welche freie Gase gebunden sind, wenn man auf die Verminderung der specifischen Expansivkraft durch die Absorption Rücksicht nimmt. Man denke sich z. B. Wasser mit Sauerstoffgas in Berührung, einen Theil desselben bereits absorbirt, und das freie Gas mit dem absorbirten im Gleichgewichte. Wird nun die Dichte des freien Gases vermehrt, so muß auch jene des absorbirten zunehmen, welches durch Absorption eines neuen Quantums geschieht, wenn das Gleichgewicht bei dieser Lage der Dinge fortdauern soll. Auf gleiche Weise muß ein Theil des absorbirten Gases frei werden, wenn die Dichte oder der Druck des äußeren vermindert wird. Aendert sich die Temperatur des Gases und der absorbirten Flüssigkeit, so nehmen zwar die Expansivkräfte des freien und des absorbirten Gases auf gleiche Weise ab oder zu, aber der Erfolg fällt verschieden aus, je nachdem das freie Gas entweichen kann oder nicht. Ist ersteres der Fall, so bleibt ungeachtet der Temperaturänderung der Druck des freien Gases auf die Flüssigkeit derselbe, während die Spannkraft des absorbirten sich ändert und beim Erwärmen wächst, beim Erkalten abnimmt. Es muß daher bei einer Statt habenden Erwärmung ein Theil des absorbirten Gases frei gelassen, bei einer Erkältung hingegen ein neues Quantum absorbirt werden, abgesehen von der etwa durch die Tem-

peraturänderung hervorgebrachten Modification des Absorptionsvermögens der Flüssigkeit. Nach Henry's Versuchen absorbirt Wasser nach einer Temperaturerhöhung von 10° C. um 0.133 weniger Luft als vor derselben. Ist die freie Luft so eingeschlossen, daß sie nicht entweichen kann, so bringt eine Temperaturänderung im freien und im absorbirten Gase dieselbe Aenderung der Expansivkraft hervor, und es wird das absorbirte Gas weder vermehrt noch vermindert. Dieses ist das von Dalton auf empirischem Wege gefundene Gesetz, vermög welchem das Verhältniß zwischen dem absorbirten und dem freien Gase bei jedem Temperaturwechsel unverändert bleibt, wenn nur die tropfbare Flüssigkeit nicht zum Frieren oder zum Sieden gebracht wird. Bringt man über eine Flüssigkeit, die schon Gas absorbirt hat, eine andere Luftart; so wird zur Herstellung eines stabilen Gleichgewichtes ein Theil des absorbirten Gases frei, ein Theil des freien absorbirt, und es tritt sowohl im absorbirten als im freien Gase eine gleichförmige Mengung beider ein. Kommt eine Flüssigkeit mit zwei Gasen zugleich in Berührung, so nimmt sie von jedem einen Theil auf, der sich nach der Einsaugbarkeit desselben und nach dem Verhältnisse, in welchem die Gase gemengt sind, richtet. (Gehler's neues phys. Wörterbuch. Art. Absorption.)

Diese Gesetze des Gleichgewichtes absorbirter Gase mit freien, sind nicht bloß in theoretischer Hinsicht wichtig, sondern gestatten vielfache practische Anwendungen. Sie lehrten z. B. daß es nothwendig sey, ein Barometer von Zeit zu Zeit von Neuem auszukochen, weil vom Quecksilber beständig Luft eingesaugt wird; daß man auf die Reinheit eines Gases, das längere Zeit durch Wasser oder Quecksilber gesperrt in einem Gefäße aufbewahrt wurde, nicht viel vertrauen darf. Faraday fand reines Wasserstoffgas, das er in einer, mit einem Glaspfropf versehenen, umgekehrten Flasche, deren Hals in Quecksilber gesenkt war, aufbewahrte, nach 15 Monaten völlig durch atm. Luft ersetzt; zwei andere, eben so vorgerichtete, Flaschen enthielten nach derselben Zeit ein Gemenge von Wasserstoffgas und atm. Luft. (Pogg. Ann. 8. 124.) Aus denselben Gesetzen ergeben sich auch die Mittel, eine Flüssigkeit mit einem Gase zu imprägniren, oder sie von einem absorbirten Gase zu befreien. Soll eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, viel von einem Gas, z. B. von Kohlensäuregas aufnehmen (welches besonders bei der Bereitung vieler künstlicher Mineralwässer der Fall ist); so muß man das freie Gas über der Flüssigkeit möglichst stark comprimiren, und die Arbeit bei einer den Eispunkt nicht weit übersteigenden Temperatur vornehmen. Bouteillenbier, junge luftdicht verschlossene Weine kommen durch die fortdauernde Gährung ohne unser Zuthun mit stark verdichtetem Kohlesäuregas in Berührung, und nehmen daher sehr viel davon auf. Um eine Flüssigkeit von der eingesaugten Luft zu befreien, kann man mehrere Mittel anwenden: 1) Verdünnung der darüber befindlichen Luft. Setzt man den darauf lastenden Luftdruck auf $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ 2c. herab, so wird auch nur $^1/_{10}$, $^1/_{100}$ 2c. des eingesaugten Gases zurückbleiben. Die Wirksamkeit dieses Mittels verursacht das Perlen moussirender Weine, der Mineralwässer, wenn man eine Flasche derselben öffnet. Indeß gibt es doch Gase, wie z. B. Ammoniakgas, Salzsäuregas, wovon selbst im luftleeren Raum ein Theil mit Wasser in Verbindung bleibt. Wir sind geneigt, dieses als ein Zeichen einer chemischen Verbindung des Gases mit der tropfbaren

Flüssigkeit zu betrachten, und in allen anderen Fällen die Absorption als mechanische Wirkung anzusehen. 2) Veränderung des damit in Berührung stehenden Gases. Dadurch wird zwar ein Theil des absorbirten Gases frei, dafür aber ein Theil des neuen Gases absorbirt. 3) Erhitzen oder Erkälten bis zum Frieren. Daher kommen die Luftblasen im Eise. 4) Zusatz eines gepulverten Stoffes oder eines solchen, der sich in der Flüssigkeit auflöset und ein Fluidum erzeugt, das weniger Gas absorbirt. So z. B. läßt Wasser die eingesaugte Luft größtentheils fahren, wenn man Schwefelsäure oder Kochsalz damit mischt.

D. Gleichgewicht der Dünste.

211. Man weiß seit undenklichen Zeiten, daß Wasser, der freien Luft bei der gewöhnlichen Temperatur in einem offenen Gefäße ausgesetzt, fortwährend weniger wird und endlich ganz verschwindet; etwas Aehnliches bemerkt man auch beim Sieden desselben, nur mit dem Unterschiede, daß hier die Verminderung viel schneller eintritt. In letzterem Falle kann man nicht läugnen, daß die tropfbare Masse in einen luftartigen Körper, in Wasserdunst, übergeht, im ersteren aber sah man früher am Luftdrucke ein Hinderniß der Bildung des Dunstes, und nahm darum an, das Wasser werde von der Luft eben so aufgelöset, wie z. B. Kochsalz vom Wasser. Einige Physiker, wie z. B. Saussure, ließen wohl das Wasser auch unter der Siedhitze in einen ausdehnsamen Körper übergehen, meinten aber, es werde dieser erst nachher von der Luft aufgelöset. Allein theils die früher bewiesenen Gesetze des Gleichgewichtes der Gase (209), unter welchen auch der Wasserdunst als expansibler Körper stehen muß, insbesondere aber die folgenden Versuche, aus denen hervorgeht, daß das Wasser und jede andere tropfbare Flüssigkeit im luftleeren Raume, wo an keine Auflösung zu denken ist, nach denselben Gesetzen verdünstet, wie in der Luft, und daß der Dunst die Eigenschaften, welche er im luftleeren Raume besitzt, in jeder Luftart unverändert beibehält, lassen keinen Zweifel übrig, daß Flüssigkeiten auch unter ihrer Siedhitze verdunsten, und daß der Dunst in jeder Luftart wirklich eben so selbstständig besteht, wie ein Gas in dem anderen. (Von den Gesetzen der Dunstbildung in der Wärmelehre.)

212. Um die Eigenschaften der Dünste und die daraus fließenden Gesetze, nach welchen sie unter sich und mit anderen Kräften ins Gleichgewicht treten, kennen zu lernen, bedient man sich am besten des von Dalton gebrauchten Apparates, den Fig. 82 vorstellt. Man bringt nämlich in den leeren Raum einer Barometerröhre a, die der Länge nach in gleiche Theile getheilt ist, einige Tropfen der Flüssigkeit, deren Dünste man untersuchen will. Die Barometerröhre umgibt man mit einer weiteren Röhre b von Glas, die oben offen ist, und durch deren Boden die Barometerröhre luftdicht geschoben wird, füllt den Zwischenraum mit Wasser aus, bringt dieses nach und nach auf verschiedene Temperaturen, die man mittelst eines Thermometers mit cylindrischem Gefäße mißt, und vergleicht bei jeder Temperatur die Länge

der Quecksilbersäule in diesem Barometer mit der in einem gewöhnlichen. Der Unterschied dieser zwei Längen gibt offenbar die Größe der Expansivkraft der entstandenen Dünste an. Man kann in den oberen Raum eines solchen Barometers auch etwas atm. Luft oder ein anderes Gas bringen, und auch unter diesen Umständen die Expansivkraft der entstandenen Dünste kennen lernen. Für höhere Temperaturen bedient man sich einer, der heberförmigen Röhre ab (Fig. 83) ähnlichen Vorrichtung, in deren geschlossenen Arm b man die Flüssigkeit bringt, um deren Dünste es sich handelt; den übrigen Raum füllt man mit Quecksilber, und setzt den Apparat wieder den beabsichtigten Temperaturen aus. So wie dem Dunste eine Spannkraft entspricht, die größer ist, als der auf die eingesperrte Flüssigkeit ausgeübte Druck von Seite der Quecksilbersäule im Apparate und der äußeren Luft, wird das Quecksilber im eingeschlossenen Schenkel herabgedrückt, und die Differenz zwischen der Länge der Quecksilbersäule in einem gleichzeitig beobachteten Barometer und derjenigen Säule, um welche das Quecksilber im verschlossenen Arme höher steht als im offenen, ist wieder das Maß der Expansivkraft der Dünste. Für Temperaturen unter dem Eispunkte, wo das in der äußeren Röhre (Fig. 82) entstandene Eis keine Beobachtung des Standes der Quecksilbersäule mehr erlaubt, hat Gay-Lussac seine Barometerröhre am oberen Ende schief gebogen (Fig. 84), und sie daselbst in eine erkältende Mischung getaucht. Da müssen alle Dünste in der Röhre die Spannkraft annehmen, welche der mindesten daselbst herrschenden Temperatur entspricht, und man kann sie wieder leicht aus der Differenz im Stande dieses Barometers und eines anderen daneben befindlichen entnehmen. Um endlich die Spannkraft des Wasserdunstes, dessen Verhalten den Physiker am meisten interessirt, bei jeder herrschenden Temperatur der Atmosphäre beobachten zu können, empfiehlt Prechtl die in Fig. 85 abgebildete Vorrichtung, die gleichsam ein abgekürztes, gleichschenkeliges, ganz geschlossenes Heberbarometer vorstellt, in dessen einem Arme sich etwas Wasser befindet, das den Dunst liefert. Da gibt der Höhenunterschied der Quecksilbersäulen in beiden Armen die Größe der Spannkraft der Dünste an.

213. Mittelst solcher Apparate hat man sich überzeugt, daß sich bei jeder Temperatur über 0° C. und sogar noch weit unter 0° C. bis zu einer noch unbestimmten Grenze Wasserdunst bildet und besteht, und eine gewisse Spannkraft und Dichte erlangen kann, welche nur von der Temperatur abhängt, und sich nicht, wie dieses bei Gasen der Fall ist, durch Verminderung des Volums vergrößern läßt; denn so wie eine solche Raumverminderung eintritt, geht ein Theil der Dünste in tropfbares Wasser über, und der Rest hat wieder seine vorige Expansivkraft und Dichte. Diese ist daher für die herrschende Temperatur ein Maximum. Dieses Maximum der Dichte und Expansivkraft wächst mit der Temperatur, jedoch in einem größeren Verhältnisse als letztere. Werden Dünste, die nicht mit Wasser in Berührung stehen, erwärmt, so dehnen sie sich wie Gase aus (für 1° C. um

0.00365 des Volums bei 0° C.), und nehmen eben so an Spannkraft zu; werden sie abgekühlt, so ziehen sie sich zusammen, bis ihre Spannkraft das der herabgesetzten Temperatur entsprechende Maximum erreicht hat. Dünste, die mit Wasser in Berührung stehen, verhalten sich beim Abkühlen, wie die im vorhergehenden Falle, beim Erwärmen werden aber nicht bloß die schon vorhandenen ausdehnsamer, sondern es entstehen auch neue, bis das Maximum der Spannkraft erreicht ist. Unter diesem Maximum befolgen Dünste auch das Mariotte'sche Gesetz. Die folgende Tafel gibt das Maximum der Spannkraft der Wasserdünste von — 20° bis 110° C., wie sie sich aus Dalton's Versuchen mittelst einer besondern von Biot deducirten Formel ergeben.

Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Linien	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Linien	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Linien	Temperatur nach C	Spannkraft in W. Linien
— 20	0.607	— 5	1.667	10	4.317	25	10.519
19	0.651	4	1.780	11	4.589	26	11.139
18	0.697	3	1.900	12	4.878	27	11.790
17	0.729	2	2.026	13	5.184	28	12.476
16	0.799	1	2.162	14	5.506	29	13.232
15	0.856	0	2.305	15	5.848	30	13.959
14	0.916	+ 1	2.457	16	6.209	35	18.406
13	0.980	2	2.619	17	6.592	40	24.143
12	1.049	3	2.789	18	6.994	50	40.461
11	1.121	4	2.972	19	7.420	60	65.900
10	1.199	5	3.165	20	7.887	70	104.34
9	1.281	6	3.369	21	8.344	80	160.39
8	1.369	7	3.586	22	8.845	90	239.29
7	1.462	8	3.815	23	9.374	100	345.42
6	1.561	9	4.058	24	9.933	110	485.59

Diese Spannkräfte kommen aber nur den aus reinem Wasser entstandenen Dünsten zu; für Dünste aus Wasser, welches Salz oder andere Körper aufgelöset enthält, fallen sie geringer aus. (Egen in Pogg. Ann. 27. 9.)

Nach Gay-Lussac beträgt die Spannkraft der Dünste aus einer wässerigen Kochsalzlösung von der Dichte 1.096 bei 10° C. nur etwa 0.9, die der aus Schwefelsäure von der Dichte 1.493 entstandenen nur 0.18 derjenigen Spannkraft, welche den aus reinem Wasser gebildeten bei derselben Temperatur zukommt. Nach Prinsep (Zeitsch. 2. 29) bleibt dieses Verhältniß für alle Temperaturen gleich.

214. Wasserdünste, die sich in der Luft bilden oder derselben beigemengt werden, vermengen sich gleichförmig mit ihr, so wie sich ein Gas mit einem anderen vermengt (209), und verhalten sich da so wie im leeren Raume, sind auch derselben Spannkraft fähig, wie in diesem. Von letzterem überzeugt man sich mittelst des Apparates Fig. 86. Dieser besteht aus einem in gleiche Raumtheile getheilten, oben geschlossenen, unten mit einer Stahlfassung und einem Stahlhahn versehenen Glasrohr A von etwa 1 Zoll Durchmesser, an dessen Seite eine

engere und längere offene Röhre B angeblasen ist. Der ganze Apparat kommt auf ein Gestell zu stehen, so daß B einen verticalen Stand hat. Wenn man einen Versuch machen will, so füllt man durch den Hahn das Rohr A halb voll Quecksilber, schließt dann den Hahn, und stellt den Apparat auf sein Gestell. Steht das Quecksilber nicht in beiden Schenkeln gleich hoch, so erhält man diesen gleichen Stand durch Zugießen von neuem Quecksilber durch die Röhre B oder durch Ablassen mittelst des Hahnes. Man mißt das Luftvolum v im Rohre A. Nun gießt man von der Flüssigkeit, um deren Dünste es sich handelt, etwas in das Rohr B, und schafft einen Theil dadurch in das Gefäß A, daß man durch den Hahn so viel Quecksilber ablaufen läßt, bis jene Flüssigkeit unter die Zusammenfügungsstelle beider Röhren gekommen ist. Das abgelassene Quecksilber füllt man hierauf wieder durch B ein. Neigt man nun das Rohr A, damit seine Wände durch die eingefüllten Flüssigkeiten benetzt werden, so bilden sich die Dünste rasch und das Quecksilber in A fällt. Ist es zum Stillstand gekommen, so wird so viel Quecksilber durch B nachgefüllt, als nothwendig ist, um Dunst und Luft auf das frühere Volum zu bringen, und man mißt hierauf die Länge der im Rohre B in die Höhe gestiegenen Quecksilbersäule. Diese gibt die Spannkraft des Dunstes für die bestehende Temperatur, und wird stets der auf die vorige Weise (212) bestimmten gleich gefunden. — Die Volumvergrößerung, welche durch den Zutritt der Dünste eintritt, läßt sich demnach berechnen. Heißt das ursprüngliche Luftvolum v, die durch den Dunstbeitritt erzeugte Vergrößerung desselben x, mithin das vergrößerte Volum $v + x$, so ist die Spannkraft der Luft, welche ursprünglich dem Luftdrucke p gleich war, in $p \cdot \frac{v}{v+x}$ übergegangen und wird erst durch die Spannkraft des Dunstes e unterstützt, wieder dem Luftdrucke gleich. Es ist daher

$$p \cdot \frac{v}{v+x} + e = p, \text{ mithin } x = \frac{ev}{p-e}.$$

215. Die Dünste anderer Flüssigkeiten befolgen dieselben Gesetze, wie die des Wassers, aber die Expansivkraft derselben weicht von jener der Wasserdünste ab, und ist überhaupt für dieselbe Temperatur desto kleiner, je schwerer die Flüssigkeit siedet. So z. B. liefert Quecksilber bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, wo die Spannkraft der Wasserdünste schon bedeutend ist, Dünste von so geringer Spannkraft, daß sie selbst im Barometer keine merkliche Depression erzeugen, und selbst bei 100° C. ist diese Spannkraft nicht größer als 0.012 W. L. (Pogg. Ann. 27. 60.)

216. Die vorhergehenden Untersuchungen lehren die absolute Expansivkraft der Dünste kennen. Zur Kenntniß der specifischen gelangt man durch die Dichte der Dünste im Verhältnisse zur Luft unter denselben Umständen, indem die Dichten bei gleichen absoluten Expansivkräften den specifischen Expansivkräften verkehrt proportionirt sind. Um die Dichte des Dunstes eines Stoffes zu finden, ist es nothwendig, eine abgewogene Menge dieses Stoffes in einen geschlossenen Raum zu

bringen, ihn in Dunst zu verwandeln und das Volum desselben zu bestimmen. Dahin gelangte Gay-Lussac für Wasser durch folgendes Verfahren: Ein kleines hohles Glaskügelchen, das in ein dünnes Röhrchen auslief, wurde im leeren Zustande abgewogen, hierauf mit Wasser gefüllt, zugeschmolzen, wieder gewogen und so das Gewicht des Inhaltes genau gefunden. Dieses Kügelchen wurde in einen in gleiche Theile getheilten, mit reinem Quecksilber gefüllten Recipienten gebracht und derselbe erhitzt, bis das Wasser die Glashülle zersprengte, wo sich dann Dunst bildete, dessen Volum man messen und mit dem eines gleichen Gewichtes einer gleichwarmen Luftmasse vergleichen konnte. Bevor dieses geschah, mußte der Dunst nach dem Mariotte'schen Gesetze auf den vollen Luftdruck (207) reducirt werden. So fand man, daß Wasserdunst bei 100° C. und 0.76 Meter Barometerhöhe 1700mal leichter ist als Wasser bei 0° C. Aber die Luft ist unter genanntem Drucke bei 0° C. 770mal, mithin (nach 185) bei 100° C. 770 (1 + 0.364), d. h. 1050mal leichter als Wasser; es verhält sich daher die Dichte des Dunstes unter genannten Umständen zur Dichte der Luft, wie 1050 zu 1700, d. h. nahe wie 0.62 : 1, oder auch wie 1 : 1.6. Nach dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze kann man dieses Resultat auch auf alle anderen Temperaturen und Spannkräfte ausdehnen und daher annehmen, daß überhaupt die Dichte des Wasserdunstes $^{10}/_{16}$ von jener der Luft unter denselben Umständen beträgt. Mit großer Sicherheit läßt sich die Dichte des Wasserdunstes mit Hilfe der so genau bekannten Dichten des Sauerstoff- und Wasserstoffgases, wie in 200 gezeigt wurde, berechnen. Um mit dem oben erhaltenen Resultate in Harmonie zu kommen, mußte man dort annehmen, daß sich die drei Volume der Bestandtheile des Wassers bei dessen Bildung auf 2 Vol. zusammenziehen. Dieß gibt die Dichte des Wasserdunstes = 0.6201. Auf gleiche Weise fand man die Dichte des Alkoholdunstes 1.6005, die des Schwefelätherdunstes 2.5809, jene der atm. Luft als Einheit angenommen. Es ist demnach die specifische Expansivkraft des Wasserdunstes = 1.6126, des Alkoholdunstes = 0.6248, des Schwefelätherdunstes = 0.3875.

Zur Bestimmung der Dichte des Dunstes eines Stoffes, zumal eines solchen, zu dessen Verflüchtigung eine höhere Temperatur erforderlich ist, kann man auch in ein schickliches Gefäß eine Menge des Stoffes bringen, deren Dunst einen Raum einnimmt, der den Inhalt des Gefäßes viele Male übertrifft, und nachdem man die Mündung des Gefäßes in eine Spitze ausgezogen hat, dasselbe so lange erhitzen, bis kein Dunst mehr entweicht, sodann die Spitze zuschmelzen. Die im Gefäße enthaltene Luft wurde hiebei ausgetrieben, und der Dunst hatte die Spannkraft der umgebenden Luft. Die Wägung des mit dem Dunste, mit Luft und endlich mit Wasser gefüllten Gefäßes, nebst Temperatur und Barometerstand, geben die Daten zur Bestimmung der Dichte des Dunstes.

217. Sehr wichtig ist in manchem Falle die Frage, wie groß die Expansivkraft des in einem Raume vorhandenen Dunstes sey, insbesondere, in welchem Verhältnisse diese zu dem Maximum der Expansivkraft stehe, die der Dunst bei der herrschenden Temperatur haben

könnte. Offenbar hängt hievon der Feuchtigkeitszustand ab, den wir der Luft zuschreiben, und den wir durch Ausdehnung des Begriffes Feuchtigkeit auf die Leichtigkeit beziehen, womit Körper, die eine große Neigung haben, Wasser aufzunehmen, dieses durch Condensation des der Luft beigemengten Dunstes sich verschaffen können. Da hiezu von Seite des Körpers ein um so geringerer Kraftaufwand hinreicht, je näher die Expansivkraft des Dunstes dem Maximum liegt, so kann man füglich den Quotienten, den die Expansivkraft e des in der Luft befindlichen Dunstes durch das der herrschenden Temperatur entsprechende Maximum E getheilt gibt, nämlich $\frac{e}{E}$ als den Ausdruck des Feuchtigkeitsgrades der Luft betrachten. Hiebei wird das Maximum der Feuchtigkeit durch die Einheit dargestellt. Für den Gebrauch im gemeinen Leben ist es jedoch passender, den Feuchtigkeitsgrad der Luft durch die Zahl f auszudrücken, welche angibt, wie viel Procente des Maximums die stattfindende Expansivkraft des Dunstes beträgt, mithin $f = \frac{100\,e}{E}$ zu setzen. Die größte Feuchtigkeit wird demgemäß durch die Zahl 100 angezeigt. Der Feuchtigkeitsgrad ist daher der Ausdruck der relativen Spannkraft des Dunstes im Gegensatze mit der absoluten, d. h. ohne Beziehung auf das Maximum genommen.

218. Nicht minder wichtig als die oben ausgesprochene, ist die Frage, wie viel Dunst in einem gegebenen Raume enthalten sey. Man könnte diese Frage zwar dadurch beantworten, daß man die durch Aufnahme der Dünste entstandene Gewichtszunahme eines absorbirenden Körpers in einem bekannten Raume bestimmte (Brunner in Pogg. Ann. 20. 274.); doch ist dieses Verfahren in den meisten Fällen zu umständlich, und man berechnet den Dunstgehalt lieber aus der gefundenen Expansivkraft der Dünste. Diese Rechnung wird auf gleiche Weise geführt, es mag sich in diesem Raume nebst dem Dunste noch Luft befinden oder nicht, weil ein bestimmter Raum in beiden Fällen gleich viel Dunst fassen kann, und die gesuchte Dunstmasse ist so groß, wie $^{10}/_{16}$ der Luftmasse, welche derselbe Raum bei der herrschenden Temperatur und unter jenem Drucke fassen kann, welcher der Expansivkraft des Dunstes gleich ist. Es lauft demnach alles darauf hinaus, die Expansivkraft des Dunstes in einem Raume zu finden. Dieses hat keine Schwierigkeit, wenn der Raum mit Dunst gesättiget ist, d. h. wenn der Dunst das Maximum seiner Expansivkraft für die bestehende Temperatur hat; denn diese gibt die Tafel S. 149 an; ist aber dieses nicht der Fall, so muß man sich zur Bestimmung der Expansivkraft besonderer Werkzeuge bedienen, die man Hygrometer nennt.

219. Die Hygrometer lassen sich in zwei Classen theilen. Die der einen Classe geben zunächst, wenn auch nicht unmittelbar, die absolute Expansivkraft der Dünste an, wie man sie zur Lösung der vorhergehenden Aufgabe braucht; die in die andere Classe gehörigen führen zunächst zur Kenntniß der relativen Spannkraft oder des Feuchtigkeitsgrades. Um die Einrichtung der Instrumente der ersten

Classe und ihre eigentlichen Leistungen kennen zu lernen, denke man sich einen Raum, welcher die Dünste enthält, deren Expansivkraft gesucht wird, der aber nicht damit gesättiget ist. Verdichtet man diese Dünste durch Verkleinerung ihres Volums, bis sie sich in kleinen Tropfen abzusetzen anfangen, so haben sie das Maximum ihrer Spannkraft überschritten; verfährt man aber mit dieser Raumverminderung langsam und läßt die comprimirende Kraft nur um kleine Grade wachsen, so kann man den Raum in dem Momente, wo die Verdichtung des Dunstes sichtbar zu werden anfängt, als im Zustande der Sättigung befindlich ansehen, die diesem Zustande entsprechende Spannkraft aus der Tafel S. 149 entnehmen und sie in dem Verhältnisse vermindern, in welchem das Dunstvolum verkleinert werden mußte. Ein Apparat, wie der in Fig. 64 abgebildete, in dessen verschlossenem Schenkel die Dünste befindlich sind, deren Volum durch Zugießen von Quecksilber durch den offenen Arm AB successive verkleinert werden kann, wäre daher schon ein Hygrometer. Herapath hat wirklich ein solches Hygrometer empfohlen. Allein die Bestimmung des Punktes der größten Spannkraft der Dünste ist auf diesem Wege zu schwierig und zu unsicher; besser gelangt man zum Ziele, wenn man die zu prüfenden Dünste entweder durch Verminderung ihrer Temperatur, oder dadurch und zugleich durch Zugabe neuer Dünste auf das Maximum ihrer Spannkraft bringt. Dieser Mittel bedienten sich zum hygrometrischen Behufe Dalton, Leslie und andere. Dalton nahm ein Cylinderglas mit dünnen Wänden, füllte es mit einer Masse, welche das Glas und mittelst dessen auch die dasselbe umgebende Luft so weit abzukühlen vermochte, daß sich ein feiner Thau an den Wänden anzusetzen begann, zum Zeichen, daß der Sättigungspunkt eingetreten, oder eigentlich schon ein wenig überschritten sey. Als erkältende Masse diente im Sommer kaltes Wasser, im Winter eine eigene Mischung. Während der Erkaltung wurde die Temperatur des Glases beobachtet, und diejenige besonders bemerkt, bei welcher das Beschlagen der Wände eintrat. Wurde nun aus der Tafel der Expansivkräfte, die dieser Temperatur (dem Thaupunkte) entsprechende Spannkraft des Wasserdunstes genommen; so gab diese Größe die gesuchte Expansivkraft an. Indeß gestattet auch dieses Verfahren keine große Genauigkeit. Darum hat man die Erkältung durch Verdünstung einer flüchtigen Substanz, gewöhnlich des Schwefeläthers, hervorzubringen gesucht. Die Instrumente, bei denen dieses Verfahren angewendet wird, heißen deßhalb auch Schwefelätherhygrometer. Die vorzüglichsten derselben sind das Daniell'sche und das Körner'sche. Daniell's Hygrometer ist in Fig. 87 abgebildet. A ist eine gläserne oder metallene, fein polirte und luftdichte Kugel, die etwas Schwefeläther und die Kugel eines empfindlichen Thermometers enthält, und mittelst der Röhre B mit einer zweiten ähnlichen Kugel C verbunden ist, welche von außen mit feinem Musselin umwickelt worden. Beide Kugeln sammt der Röhre B sind luftleer und enthalten nur Aether. Wird durch die Wärme der Hand aller Aether in die Kugel A getrieben, und hierauf C von außen mit

Aether befeuchtet, so verursacht die durch das Verdünsten entstandene Kälte eine Verdichtung des inwendigen Aetherdunstes, mithin eine neue Verdünstung in A und dadurch ein Sinken des Thermometers. Sobald A so weit erkältet ist, daß sich an der Kugel rings um die Oberfläche des Aethers ein schmaler Thauring bildet, beobachtet man das Thermometer in A, und findet für seine Anzeige in Dalton's Tafel die Expansivkraft des Dunstes. Was hier Daniell durch das Benetzen der Kugel C, das bringt Döbereiner dadurch hervor, daß er Luftblasen durch den Aether leitet. (Gilb. Ann. 70. 135.) Körner's Hygrometer besteht aus einem Thermometer, wovon die Kugel aufwärts gebogen, mit Musselin überwickelt und an der unteren Hälfte mit einer vergoldeten metallenen Schale bedeckt ist (Fig. 88). Gibt man auf die Musselindecke einige Tropfen Schwefeläther; so beschlägt die vergoldete Schale alsobald, und die Quecksilbersäule zeigt den Thaupunkt. — Das hygrometrische Verfahren, wodurch man die Dünste zugleich durch Erkältung und durch Zusatz einer neuen Dunstmenge auf das Maximum der Spannkraft bringt, wird auf folgende Weise eingeleitet: Man umwickle die Kugel eines Quecksilberthermometers, Thermohygrometer oder Psychrometer genannt, mit Musselin und betröpfle sie mit reinem Wasser. Dieses verdünstet so lange, bis der Raum in der Nähe der Thermometerkugel mit Dunst gesättiget ist, und diese Verdünstung bewirket eine desto größere Erkältung, mithin ein desto größeres Sinken des Thermometers, je mehr Dünste entstehen müssen, bis das der obwaltenden Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft erreicht ist, d. i. je weiter die Spannkraft der ursprünglich vorhandenen Dünste von ihrem Maximum entfernt ist; sobald aber dieses Maximum erreicht ist, nimmt das Thermometer einen stationären Stand an. Man kann durch Rechnung die fragliche Spannkraft finden, wenn der Unterschied zwischen dem Stande dieses befeuchteten Thermometers (der Verdunstungs- oder Naßkälte) und dem eines gewöhnlichen trockenen, und der Luftdruck gegeben sind, und zwar, wenn die Thermometerkugel mit Wasser überzogen ist, nach der Formel (1), ist sie aber mit Eis überzogen, nach der Formel (2):

$$(1)\ e = e' - 0.00078\,bd, \quad (2)\ e = e' - 0.00076\,bd;$$

wo e die gesuchte Größe, e′ die dem hygrometrischen Thermometerstande entsprechende größte Spannkraft der Wasserdünste, b den Barometerstand und d die Differenz im Stande des hygrometrischen und des gewöhnlichen 100theiligen Q. Thermometers bedeutet. Man hat zur Erleichterung der Rechnung eigene Tafeln, worin für jeden Werth von b und d der Werth von e angegeben ist. (Psychrometertafeln von August. Berlin 1832. Tabelle zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit nach den Anzeigen des Thermohygrometers. Wien 1832. Hilfstafeln und Beiträge zur neueren Hygrometrie von Stierlin. Köln 1834.)

Nach diesem Grundsatze hat Leslie ein eigenes Hygrometer construirt, das in Fig. 89 abgebildet ist und aus einer heberförmig gebogenen, an beiden Enden mit Kugeln versehenen Thermometerröhre besteht, welche eine gefärbte Flüssigkeit enthält, während sich in den beiden Kugeln Luft befindet. Eine dieser Kugeln ist mit Floretseide umwunden, wo-

von einige Fäden in ein Gefäß mit Wasser reichen und mittelst Capillarität etwas davon der Kugel zuführen, damit sie immer feucht erhalten werde. So wie das Wasser verdünstet und die in der umwickelten Kugel enthaltene Luft abgekühlt wird, steigt in dem daran grenzenden Theile der Röhre die Flüssigkeit und läßt aus ihrem Stande den Unterschied in der Temperatur der trockenen und feuchten Kugel erkennen, aus der man wieder durch eine besondere (von der obigen verschiedene) Formel die Expansivkraft der Dünste kennen lernen kann. August hat zuerst ein gewöhnliches Thermometer auf ähnliche Weise sehr zweckmäßig zur steten Befeuchtung eingerichtet und dieses Instrument Psychrometer (Naßkältemesser) genannt. (Pogg. Ann. 5. 69, 335.)

220. Die Hygrometer der zweiten Classe beruhen auf der Eigenschaft einiger Körper (sogenannter hygroskopischer Substanzen), Wasserdünste zu verdichten, das Wasser aufzunehmen und dadurch eine merkliche Veränderung im Gewichte oder in ihren Dimensionen zu erleiden. Solche Körper sind: Haare, Fischbein, Knochen, Federkiele (Chiminello's Hygrometer), Darmseiten (Lambert's Hygrometer), Blasen von Ratten, Eichhörnchen (Wilson's Hygrometer), Grannen von verschiedenen Samen, z. B. vom Rauhhaber (avena fatua), von Erodium gruinum und circonium, Holz, Papier, geglühte Pottasche, salzsaurer Kalk, Schwefelsäure, Kobaltoxyd, Thonschiefer, Glas ꝛc. (Gilb. Ann. 1. 297 und 314; 3. 1; 2. 26, 75 und 367; 5. 79 und 95; 4. 479; 23. 232; 59. 307.) Unter allen diesen haben ausgelaugtes Menschenhaar und gehörig zubereitetes Fischbein die meiste Beachtung erlangt. Für ersteres hat sich Saussure, für letzteres de Luc erklärt.

221. Ein Menschenhaar hat die Eigenschaft, sich durch Aufnahme der Feuchtigkeit aus der Luft zu verlängern und nach Abgabe dieser Feuchtigkeit wieder seine vorige Länge anzunehmen. Soll nun ein solches Haar zum Behufe eines Hygrometers eingerichtet werden, so muß es vom Kopfe eines lebenden, gesunden Menschen kommen. Zubereitet wird es durch Kochen in einer schwachen Sodalauge, Auswaschen in reinem Wasser und Abtrocknen. Ein solches Haar wird an einem Ende unbeweglich in eine Zange befestigt, am anderen aber am Umfange einer Rolle angebracht, die sich frei um ihre Axe drehen kann, und so angespannt, daß es bei der geringsten Verkürzung, die es erleidet, die Rolle merklich dreht. Damit diese aber bei der Verlängerung des Haares wieder in ihren vorigen Stand zurückgeführt werde, muß sie durch ein Gewichtchen nach einer dem Zuge des Haares entgegengesetzten Richtung bewegt werden. Da die Verlängerung des Haares durch die Feuchtigkeit immer nur sehr gering ist, so macht man sie dadurch merklicher, daß man an der Rolle einen Zeiger anbringt, der über einem Kreisbogen spielt und auf demselben bei der kleinsten Längenänderung des Haares um ein Merkliches weiter rückt. Dieser Bogen enthält die Hygrometerscale, deren äußerste Punkte dem Stande des Zeigers bei der größten Trockenheit und Feuchtigkeit entsprechen. Um den Punkt der größten Feuchtigkeit zu bestimmen, wird der Apparat in einen, inwendig mit Wasser befeuchteten und auch mit Wasser gesperr-

ten Glasrecipienten gebracht und so lange darin gelassen, bis sich das Haar nicht mehr verlängert. Zur Bestimmung des Punktes der größten Trockenheit wird er in eine gut abgetrocknete Glasglocke gebracht, nahe an ihm ein heißes, cylindrisch gebogenes, mit geglühter Pottasche überzogenes Eisenblech gestellt, alles luftdicht gesperrt und in diesem Raume so lange gelassen, bis sich das Haar selbst dann nicht mehr verkürzt, wenn man die Temperatur erhöht. Der Punkt der größten Trockenheit wird mit 0, jener der größten Feuchtigkeit mit 100 bezeichnet, und der Zwischenraum in 100 gleiche Theile getheilt. Auf solche Weise erhält man das Hygrometer, welches Saussure's Namen führt und in Fig. 92 abgebildet ist.

Die Grade des Haarhygrometers stimmen nicht mit den Angaben der Feuchtigkeitsgrade überein, welche aus den Anzeigen des Schwefeläther-hygrometers oder des Thermohygrometers folgen. Versuche, welche Gay-Lussac und Melloni angestellt haben, um zu erkennen, welcher Feuchtigkeitsgrad jedem Grade des Haarhygrometers entspreche, gaben von einander bedeutend abweichende Resultate. Die Angaben verschiedener Instrumente dieser Art stimmen nicht mit einander überein; ja selbst bei einem und demselben Instrumente ist dieß nach längerer Zeit nicht mehr der Fall. Wahrscheinlich befolgt jedes Haar in Betreff des Einflusses, den die Feuchtigkeit auf selbes ausübt, ein anderes Gesetz, so daß schon von dieser Seite ein Haarhygrometer ein sehr schwer zu adjustirendes Instrument ist; offenbar kommen die Differenzen nur daher, daß es sehr schwer hält, zwei solche Instrumente in ihren unmittelbaren Anzeigen völlig übereinstimmend zu machen. Aber selbst abgesehen von dieser Schwierigkeit, sinkt der Werth dieses Instrumentes sehr, wenn man sieht, wie nach und nach das Haar seine Empfindlichkeit verliert. Es stirbt, wie jede organische Substanz, mit der Zeit ab, wird für Dünste immer unempfindlicher, die beiden Fundamentalpunkte der Scale rücken einander näher und fallen zuletzt zusammen. Wenn man auch die Haare einer tausendjährigen Mumie noch empfindlich und zum hygrometrischen Gebrauche geeignet gefunden hat; so darf man doch nicht behaupten, daß dieses für ausgelaugte und gespannte Haare ein günstiges Zeugniß gebe. (Zeitsch. 1. 464.)

222. Nebst den angeführten Hygrometern hat auch noch das Deluc'sche wenigstens einen historischen Werth. Es ist dem Saussure'schen im Baue ähnlich, nur ist es kleiner und hat statt des Haares einen dünnen Streifen quer über die Fasern geschnittenen Fischbeines. Der Punkt der größten Trockenheit wird wie beim Haarhygrometer bestimmt, der Punkt der größten Feuchtigkeit hingegen durch Einsenken des ganzen Fischbeines in Wasser. Die Scale wird wie in Saussure's Hygrometer eingetheilt und bezeichnet.

223. Die Antwort auf die Frage: welches der hier besprochenen Hygrometer verdient den Vorzug? kann heut zu Tage nicht mehr zweifelhaft seyn. Das Haar- und Fischbeinhygrometer, so wie alle Instrumente derselben Art, bleiben immer nur nothdürftige Aushilfsmittel da, wo nichts besseres zu Gebote steht; sie ändern sich mit der Zeit und werden endlich ganz unempfindlich, jedes spricht eine andere Sprache, und an Uebereinstimmung ist nicht einmal bei neuen Instrumenten zu denken. — Schwefelätherhygrometer führen zwar auf eine

sichere, von jeder hypothetischen Voraussetzung unabhängige Weise zum Ziele; fordern aber dagegen jedesmal, wenn man ein Resultat haben will, einen besonderen Versuch, der mit Vorsicht und Aufmerksamkeit angestellt werden muß, und man bedarf dazu einer Flüssigkeit, des Schwefeläthers, die nicht überall zu haben ist. Das Thermohygrometer scheint allen gerechten Anforderungen zu entsprechen, die man an ein Hygrometer machen kann. Ist es mit einem Apparate versehen, der eines der zwei Thermometer stets naß erhält, so gibt es auf einen Blick jederzeit die zur Berechnung der Feuchtigkeit nöthigen Daten. Ein solcher Apparat kann aus einem Fläschchen bestehen, welches sich in der Nähe der zu benetzenden Thermometerkugel befindet und Wasser enthält, das durch einen Baumwollfaden oder durch den verlängerten Musselinüberzug beständig, und zwar in so kleinen Quantitäten aufgesaugt wird, daß zwar der Ueberzug der Kugel naß bleibt, aber sich doch keine Wassertropfen am unteren Ende desselben zeigen. Der Einfluß des Luftdruckes ist nur gering, und kann, wo nicht sehr große Schärfe Noth thut, mit seinem mittleren Werthe eingeführt werden, so daß man an einem bestimmten Orte keine besondere Barometerbeobachtung braucht; die bereits vorhandenen Tabellen geben schnell das gesuchte Resultat.

Ueber Hygrometer siehe: Lambert's Hygrometrie. Augsb. 1774. Saussure's Hygrometrie; aus dem Französischen. Leipzig, 1784. *Enumeratio atque descriptio hygrometrorum etc. auctore G. Hopf. Gottingae 1830.*

Dritter Abschnitt.

Bewegung der Körper (Dynamik).

Erstes Kapitel.

Allgemeine Bewegungsgesetze, die der festen Körper insbesondere.

224. Alle für unsere Sinne wahrnehmbaren Veränderungen in der Natur sind Resultate einer Bewegung. Die Theorie der Bewegungen der Körper oder die Dynamik macht daher einen Haupttheil der Physik aus. Unter Bewegung eines räumlichen Dinges versteht man aber, wie bereits früher (19) angedeutet wurde, eine Veränderung seines Ortes, d. i. des Raumes, den es einnimmt, in Bezug auf den umgebenden Raum betrachtet. Das Verharren in demselben Orte heißt Ruhe. Da jeder Ort ein absoluter oder relativer ist, je nachdem er auf den absoluten unbegrenzten Raum oder auf einen begrenzten Theil desselben bezogen wird; so kann auch jede Bewegung als absolute oder relative betrachtet werden. Erstere ist für uns gar nicht erkennbar; letztere erkennen wir aber aus der Veränderung der Lage gegen ein System von Körpern, das wir für ruhend annehmen. Um die Bewegung eines Körpers vollständig zu übersehen, muß das Verhalten jedes einzelnen Punktes in demselben bekannt seyn. Deßhalb reducirt sich die Untersuchung jeder Bewegung zuletzt auf die Betrachtung der Bewegungen von Punkten. Jeder sich bewegende Punkt beschreibt eine Linie, welche man die Bahn desselben nennt. Die Theile derselben hängen, da das Bewegliche sie stetig durchläuft, ununterbrochen an einander. Je nachdem die Bahn gerade oder krumm ist, heißt die Bewegung gerad- oder krummlinig. Bei einer geradlinigen Bewegung gibt die Bahn selbst, oder jedes ihrer Stücke nach der Gegend hin betrachtet, gegen welche der sich bewegende Punkt schreitet, die Richtung der Bewegung an. Erfolgt aber die Bewegung eines Punktes in einer krummen Bahn, so wird die Richtung seiner Bewegung an jeder Stelle der Bahn durch die zu derselben gehörende Tangente angezeigt. Die Bewegung eines Körpers oder eines Systemes mit einander verbundener Körper heißt progressiv (fortschreitend), wenn zwei mit einander nicht parallele Linien, welche man mit demselben in Verbindung gesetzt denkt, ihren ursprünglichen Lagen stets parallel bleiben. In diesem Falle beschreiben alle Punkte der Körper völlig gleiche Bahnen, und die Bewegung eines derselben kann

die aller übrigen vorstellen. Bleibt während der Bewegung eines Körpers eine gerade mit demselben verbundene Linie oder ein mit demselben verbundener Punkt unbeweglich, so sagt man der Körper drehe sich um die Gerade oder um den Punkt, und jene heißt die Drehungsaxe, dieser der Drehungsmittelpunkt. Die Bewegung eines Körpers um einen Punkt läßt sich im Allgemeinen als eine Folge von Axendrehungen betrachten, wobei die Axe in jedem Augenblicke eine andere ist; jede beliebige Bewegung aber ist entweder progressiv oder drehend, oder eine Zusammensetzung aus beiden.

225. Zu jeder Bewegung wird Zeit erfordert, denn ein sich bewegender Punkt kann nicht zugleich, sondern nur nach einander, in zwei verschiedenen Punkten seiner Bahn erscheinen. Die Zeit ist eine stetige Größe, mithin in das Unendliche theilbar. Wir sagen, ein Zeittheil sey einem andern gleich, wenn eine während des ersten vollzogene Bewegung während des andern genau wiederholt werden kann; findet das Gegentheil Statt, so heißen die Zeittheile ungleich. Durch unmittelbares Aufeinanderfolgen von zwei, drei, vier ꝛc. gleichen Zeiten entsteht eine Zeit, welche doppelt, dreimal, viermal ꝛc. so groß ist, als jede einzelne derselben. Deßhalb ist die Zeit eine meßbare Größe. Wird eine bestimmte Zeit als Einheit angenommen, so läßt sich jede andere Zeit durch die Zahl ausdrücken, welche das Verhältniß derselben zu der gewählten Einheit angibt. Der Zeitmessung legen wir eine später näher zu bestimmende Zeit, welche wir Tag nennen, zu Grunde. Der Tag wird in 24 gleiche Theile, nämlich Stunden, die Stunde in 60 Minuten, die Minute in 60 Secunden u. s. w. getheilt. Die zwischen der Länge des zurückgelegten Weges und zwischen der Zeit bestehende Beziehung drückt das Gesetz der Bewegung aus, und ist von der Gestalt der Bahn unabhängig.

226. Jede Aenderung des Zustandes eines materiellen Dinges in Hinsicht auf Bewegung und Ruhe setzt eine besondere, von der Materie verschiedene Ursache voraus (19), welche entweder activ als bewegende Kraft (20), oder passiv als Hinderniß erscheint, im letzteren Falle aber stets auf eine Gegenkraft sich reduciren läßt. Es gibt in der Natur zweierlei Kräfte, die sich durch ihre Wirksamkeit wesentlich von einander unterscheiden, nämlich solche, die nur einen Augenblick wirken, hernach aber das Bewegliche ganz sich selbst überlassen (momentane Kräfte), und andere, deren Thätigkeit durch eine angebbare Zeit ununterbrochen fortdauert (continuirliche Kräfte). Diese letzteren Kräfte sind wieder von zweifacher Art; einige wirken nämlich immer mit derselben Stärke und heißen beständige Kräfte; andere haben aber bald eine größere, bald eine geringere Intensität, und werden veränderliche Kräfte genannt. Wenn eine continuirliche Kraft zu wirken aufhört, und sodann das Bewegliche seiner Trägheit überläßt, ist der Erfolg derselbe, als ob eine momentane Kraft in dem Augenblicke des Erlöschens der continuirlichen mit einer angemessenen Intensität gewirkt hätte. Man kann daher was im Folgenden von der Wirkung momentaner Kräfte gelehrt wird, auch auf ersteren Fall beziehen.

A. Bewegung, welche durch momentan wirkende Kräfte hervorgebracht wird.

227. Wird ein in Bewegung gesetzter materieller Punkt weder von einer Kraft getrieben, noch durch ein Hinderniß gehemmt, so kann an seiner Bewegung durchaus keine Aenderung vor sich gehen. Er wird daher einer geraden Linie, welche die Richtung seiner Bewegung ist, folgen, und binnen gleichen Zeiten gleiche Wege zurücklegen. Eine Bewegung, bei welcher binnen gleichen Zeiten gleiche Wege beschrieben werden, heißt eine **gleichförmige**, und ist die einfachste, welche wir uns vorzustellen vermögen. Aus dem Begriffe derselben folgt, daß, wenn S, s Wege bedeuten, welche während der Zeiten T, t zurückgelegt werden, diese Wege sich verhalten wie die entsprechenden Zeiten oder die Proportion $S : s = T : t$ Statt findet, mithin wegen $\frac{S}{T} = \frac{s}{t}$ der Quotient, den der Zahlwerth eines Weges durch jenen der zugehörigen Zeit getheilt gibt, während der Bewegung unveränderlich ist. Dieser Quotient, durch dessen Größe sich verschiedene gleichförmige Bewegungen von einander unterscheiden, entspricht der **Geschwindigkeit** der Bewegung, auf welche er sich bezieht. Wir nennen nämlich eine Bewegung um so geschwinder, je größer der binnen einer bestimmten Zeit zurückgelegte Weg, oder je kleiner die zur Zurücklegung eines bestimmten Weges erforderliche Zeit ist. Weil die Einheit der Geschwindigkeiten willkürlich ist, kann man obigen Quotienten selbst als den Ausdruck der Geschwindigkeit gelten lassen, mithin die Geschwindigkeit C einer gleichförmigen Bewegung, bei der während der Zeit T der Weg S beschrieben wird, durch die Formel $C = \frac{S}{T}$ darstellen, aus welcher $S = CT$ und $T = \frac{S}{C}$ folgt. Da für $T = 1$, $C = S$ wird, so ist der numerische Werth der Geschwindigkeit jenem des während der Zeit 1 zurückgelegten Weges gleich, und da wenn überdieß $S = 1$, auch $C = 1$ wird, so ist die Einheit der Geschwindigkeiten jene, mit welcher die Längeneinheit während der Zeiteinheit durchlaufen wird. — Hiernach ergibt sich der Erfolg der Einwirkung einer momentanen Kraft auf ein Bewegliches von selbst. Es erzeugt nämlich eine solche Kraft eine geradlinige und gleichförmige Bewegung. Die Geschwindigkeit, welche das Bewegliche erhält, hängt einerseits von der **Intensität** der Kraft, andererseits von einer Qualität des Beweglichen ab, welche man die **Masse** desselben nennt, und die bereits in 20 erklärt worden ist. Aus den am angeführten Orte vorgetragenen Bestimmungen folgt, daß, wenn P die Intensität der momentenen Kraft, M die Masse des Beweglichen, und C die Geschwindigkeit desselben bedeutet, zwischen diesen drei Größen die Gleichung $P = MC$ besteht.

228. Wirken zwei momentane Kräfte nach übereinstimmenden oder nach gerade entgegengesetzten Richtungen auf ein Bewegliches, so wird dieses so in Bewegung gesetzt, als wenn eine einzige Kraft auf dasselbe gewirkt hätte, welche im ersten Falle der Summe, im zweiten

Falle der Differenz der Kräfte gleich kommt. Das Bewegliche erhält demgemäß eine Geschwindigkeit, welche im ersten Falle der Summe, im zweiten Falle der Differenz der Geschwindigkeiten gleich ist, die beide Kräfte für sich allein erzeugt hätten, und die Richtung der Bewegung fällt in die Richtungen der Kräfte selbst, und stimmt im zweiten Falle mit der Richtung der größeren Kraft überein.

229. Wird ein Bewegliches A (Fig. 9) von zwei momentanen Kräften P, Q getrieben, die nach den Richtungen Ax, Ay wirken, und für sich allein die Geschwindigkeiten $C = AC$ und $c = AD$ erzeugt hätten, so erfolgt Bewegung nach der Richtung der Diagonale AB des Parallelogramms ADBC mit einer Geschwindigkeit, deren Größe durch eben diese Diagonale angezeigt wird. Denn offenbar wird der Punkt A so in Bewegung gesetzt, als ob die Resultirende R auf denselben einwirkte. Aber die Kräfte P, Q verhalten sich wie die Geschwindigkeiten C und c (20), können also durch die Linien AC, AD vorgestellt werden. Demnach ist ADBC das Parallelogramm der Kräfte, und die Resultirende R hat die Richtung der Diagonale AB, und wird durch diese Gerade vorgestellt, d. h. es ist $R : P = AB : AC$. Heißt nun die Geschwindigkeit, welche R dem Beweglichen A beibringt, x, so ist $R : P = x : C$, folglich auch $x : C = AB : AC$, also wegen $C = AC$ nothwendig $x = AB$. Hieraus folgt, daß sich Geschwindigkeiten wie Kräfte zusammensetzen und zerlegen lassen.

B. Bewegung, welche durch continuirlich wirkende Kräfte hervorgebracht wird.

230. Eine ununterbrochen wirksame Kraft bringt dem Beweglichen die Fähigkeit bei, zu Folge seiner Trägheit allein, ohne ferneres Zuthun der Kraft nach ihrer Richtung mit um so größerer Geschwindigkeit fortzuschreiten, je länger sie wirkt; sie bringt demnach, wie man zu sagen pflegt, eine beschleunigte Bewegung hervor. Nach dem Gesetze, an welches die Stärke dieser Kraft gebunden ist, richtet sich die Beschaffenheit der Beschleunigung, mithin die Natur der Bewegung. Hier kann nur diejenige Bewegung ausführlich betrachtet werden, welche durch eine beständige beschleunigende Kraft hervorgebracht wird. Um in die Bewegung, welche eine solche Kraft hervorbringt, eine deutliche Einsicht zu bekommen, denke man sich die Zeit der Bewegung t in n gleiche Theile von der Dauer $\frac{t}{n}$ getheilt, und stelle sich vor, als wirke die beschleunigende Kraft nur im Anfange eines jeden solchen Zeittheilchens, aber immer mit derselben Stärke. Man sieht leicht ein, daß die Bewegung während der Dauer von $\frac{t}{n}$ gleichförmig seyn wird, daß aber die Geschwindigkeit in den auf einander folgenden Zeittheilchen stets zunehmen muß. Heißt die im ersten Zeitheilchen erlangte Geschwindigkeit γ, so ist die im zweiten Zeittheilchen 2γ, im dritten 3γ, im n^{ten} $n\gamma = c$. Je kleiner $\frac{t}{n}$ oder je grö-

ßer n ist, desto schneller folgen die beschleunigenden Wirkungen der Kraft auf einander, und desto mehr nähert sich die Kraft einer ununterbrochen wirkenden. Die Grenze, welcher sich n ohne Ende nähert, ist $n = \infty$, diejenige, welcher die Kraft immer näher kommt, ist eine ununterbrochene Wirksamkeit: daher wirkt für $n = \infty$ die Kraft ohne Unterbrechung. In diesem Falle sind aber die Geschwindigkeiten den Zeiten, in denen sie erlangt wurden, proportionirt. Da eine Bewegung, deren Geschwindigkeit im geraden Verhältnisse mit der Zeit wächst, eine gleichförmig beschleunigte heißt; so ist klar, daß durch eine beständige, ununterbrochen wirksame Kraft eine gleichförmig beschleunigte Bewegung hervorgebracht wird. Man darf aber nie vergessen, daß das, was hier die Geschwindigkeit vorstellt, von dem, was sie bei der gleichförmigen Bewegung angab, verschieden sey. Denn dort war es der Raum, der wirklich in einer Zeiteinheit zurückgelegt wurde, hier ist es derjenige, welcher in einer Zeiteinheit zurückgelegt würde, wenn von einem Augenblicke an die Kraft zu wirken aufhörte, und sich das Bewegliche bloß vermöge seiner Trägheit fort bewegte.

231. Um die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung zu entwickeln, bediene man sich derselben Vorstellung wie vorher. Ist dieser gemäß s der in der Zeit t zurückgelegte Weg, γ die im ersten Zeittheilchen $\frac{t}{n} = \tau$ erlangte Geschwindigkeit; so ist der Weg, welcher

im ersten Zeittheilchen zurückgelegt wird $= \gamma\tau$,
» zweiten » » » $= 2\gamma\tau$,
» dritten » » » $= 3\gamma\tau$,
» n^{ten} » » » $= n\gamma\tau$,

mithin $s = \gamma\tau + 2\gamma\tau + 3\gamma\tau$ ꝛc. $+ n\gamma\tau = \gamma\tau(1 + 2 + 3$ ꝛc. $\ldots + n)$

$$= (1 + n)\frac{n}{2}\cdot\gamma\tau = \frac{n\gamma\tau}{2} + \frac{n^2\gamma\tau}{2} = \frac{n^2\gamma\tau}{2n} + \frac{n^2\gamma\tau}{2}.$$

Aber $n\gamma$ ist gleich der Endgeschwindigkeit c und $n\tau = t$, mithin

$$s = \frac{ct}{2n} + \frac{ct}{2}.$$

In diesem Ausdrucke ist das zweite Glied von n unabhängig, das erste wird desto kleiner, je größer n ist, d. i. je schneller die Wirkungen der beschleunigenden Kraft auf einander folgen. Es nähert sich daher s dem Werthe $\frac{ct}{2}$ in demselben Maße, in welchem sich die beschleunigende Kraft einer ununterbrochen wirksamen, oder in welchem sich die Bewegung einer gleichförmig beschleunigten nähert. Für die beiderseitige Grenze der Annäherung ist daher

$$s = \frac{ct}{2} \quad (1),$$

wo s den Weg vorstellt, welcher in der Zeit t zurückgelegt wird, der die Endgeschwindigkeit c entspricht.

Heißt g die in der ersten Secunde erlangte Geschwindigkeit; so ist

$g : c = 1 : t$ und $c = gt$ . . . (2),

aus 1 und 2 folgt $s = \frac{gt^2}{2}$ . . . . (3),

und hieraus $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ . . . . (4),

endlich, aus (2) und (4), $c = \sqrt{2gs}$ (5).

Ist M die Masse des Beweglichen, so kann das Produkt $Mg = \frac{Mc}{t}$ als das Maß der beschleunigenden Kraft angesehen werden. Den Werth von g nennt man die Acceleration (Beschleunigung) der Bewegung. Diese ist, wie aus der Formel (3) erhellet, dem doppelten Wege gleich, der in Folge der Kraft, während einer Zeiteinheit vom Anfange der Bewegung an gezählt, zurückgelegt wird.

Aus diesen Formeln erkennt man, daß bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung 1) die Wege sich verhalten wie die Quadrate der Zeiten, oder 2) daß die in auf einander folgenden gleichen Zeiten zurückgelegten Wege wie die ungeraden Zahlen wachsen. Heißt nämlich s' für die Zeit $(t-1)$, was s für t bedeutet, so ist

$$s - s' = \frac{g}{2}(2t - 1).$$

Da eine gleichförmig beschleunigte Bewegung, rückwärts betrachtet, als gleichförmig verzögert erscheint, d. h. als eine solche, bei welcher die Geschwindigkeit in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem die Zeit wächst; so sind in den hier entwickelten Formeln auch die Gesetze dieser Bewegung enthalten.

232. Aus dem, was früher über die Schwere gesagt wurde, kann man abnehmen, daß schwere Körper im freien Falle von Höhen, die gegen den Halbmesser der Erde verschwinden, eine gleichförmig beschleunigte Bewegung haben müssen, vorausgesetzt, daß die Schwere auf bewegte Körper so wirkt, wie auf ruhende. Die Erfahrung lehrt auch wirklich, daß die im freien Falle unter den angegebenen Umständen zurückgelegten Wege den Quadraten der Zeiten proportionirt sind, mithin daß die Bewegung eine gleichförmig beschleunigte ist. Diese Erfahrung läßt sich wegen der zu bedeutenden Höhe, die dazu erfordert würde, und wegen des Widerstandes der Luft, nicht wohl beim freien Falle machen, aber es gibt eine Vorrichtung, die unter dem Namen der Atwood'schen Fallmaschine bekannt ist, mittelst welcher man die Fallhöhe in einer Secunde beliebig vermindern und aus den Resultaten der Versuche, die sich mit ihr anstellen lassen, doch auf die Gesetze beim freien Fall schließen kann. Diese Vorrichtung besteht in ihrer einfachsten Gestalt aus einer fixen Rolle a (Fig. 91), über deren Umfang eine feine Schnur b geht, welche am Ende Schälchen zur Aufnahme bestimmter Gewichte hat. Die Rolle ist an einer verticalen, in Zolle eingetheilten Säule c befestiget, an der man den Weg, den eine Schale zurücklegt, messen und mit der Zeit der Bewegung vergleichen kann.

Ist M das Gewicht der Rolle, der Schnur und der Schalen, P das Ge-

wicht, welches auf eine der beiden Schalen, $P + p$ dasjenige, welches auf die andere gelegt wird, ferner die Beschleunigung der Schwere im freien Falle g, an der Atwood'schen Fallmaschine g', so hat man

$$(M + 2P + p)\, g' = p\, g$$

das ist $(M + 2P)\, g' = (g - g')\, p$ und daher $p = \frac{(M + 2P)\, g'}{g - g'}$.

Wollte man, daß eine Schale in der ersten Secunde 1 Zoll zurücklege, mithin die Geschwindigkeit 2 Zoll erlange, so hätte man $g' = 2$ und $p = \frac{M + 2P}{185}$, wenn $g = 31$ F. $= 372$ Z. gesetzt wird. Wegen der drehenden Bewegung der Rolle ist die Rechnung nur beinahe richtig; eigentlich sollte man nur ihre halbe Masse in Rechnung bringen.

233. Wenn man in den Formeln 232 für die gleichförmig beschleunigte Bewegung statt g die Größe der Schwere setzt; so gelten sie für den freien Fall, und können daher zur Auflösung aller dahin gehörigen Aufgaben gebraucht werden. Man muß aber hierbei nie vergessen, daß g für Oerter von verschiedener Breite auch einen verschiedenen Werth hat. Die Erfahrung lehrt, daß, wenn die Beschleunigung der Schwere in einer Breite von 45° gleich g, in einer Breite φ aber gleich g' ist, die Gleichung Statt findet:

$$g' = g\,(1 - 0.002837\, cos.\, 2\varphi).$$

Für Wien beträgt der Werth von $g = 31.03023$ Fuß.

234. Betrachtet man einen schweren Körper auf einer schiefen Ebene, so findet man, daß er auch durch eine beständige und continuirlich wirkende Kraft abwärts getrieben wird, und daher eine gleichförmig beschleunigte Bewegung annehmen muß, wenn von allen Hindernissen der Bewegung abgesehen wird, und die Höhe der schiefen Ebene nicht gar zu groß ist. Stellt z. B. ABC (Fig. 92) den Durchschnitt einer schiefen Ebene mit einer auf ihr senkrecht stehenden, verticalen Ebene vor, ist AB ihre Höhe, AC ihre Länge, BC ihre Basis, $ACB = a$ ihr Erhöhungswinkel, und endlich G der Schwerpunkt eines Körpers, Gx die Richtung der Schwere, GD ihre Größe $= g$; so kann man GD in die auf AC senkrechte GE und in die mit ihr parallele GF zerlegen, wovon erstere durch den Widerstand der schiefen Ebene aufgehoben wird, während die letztere eine Bewegung längs derselben hervorbringt, und relative Schwere heißt. Da Gx auf BC, und FD auf AC senkrecht steht; so ist $FDG = ACB = a$ und daher $GF = GD\, sin\, a = g.\, sin\, a$, also eine Kraft, die für einerlei Werth von a beständig ist, wenn g unverändert bleibt. — Mittelst der schiefen Ebene hat Galiläi zuerst die Gesetze des Falls schwerer Körper in der Erfahrung dargethan.

235. Setzt man in den Formeln für die gleichförmig beschleunigte Bewegung statt g, $g\, sin\, a$, und versteht unter g den doppelten Fallraum in der ersten Secunde beim freien Falle; so gelten die so entstehenden Formeln für den Fall über eine schiefe Ebene. Man hat deßhalb, wenn s', t', c' dasselbe für die schiefe Ebene sind, was s, t, c für den freien Fall bedeuten:

$c' = g t' . sin\, a$. (1), $s' = \frac{g t'^2 . sin\, a}{2}$ (2)

$t' = \sqrt{\frac{2 s'}{g . sin\, a}}$. (3), $c' = \sqrt{2 g s' . sin\, a}$ (5).

236. Wenn ein Körper auf der schiefen Ebene (Fig. 93) bis D gekommen ist, und die Frage entsteht, wie weit er in derselben Zeit im freien Falle gekommen wäre; so errichte man im Punkte D auf A C die senkrechte D E, und man hat A E als den in Frage stehenden Fallraum. Denn setzt man A C B = a und nennt x den gesuchten Weg; so wird

$AD = \frac{g t^2}{2} . sin\, a$ und $x = \frac{g t^2}{2}$, d. h. $AD = x . sin\, a$ oder $\frac{AD}{sin\, a} = x$.

Aber wegen E A D = B A C und A D E = A B C ist auch A E D = a, und daher $\frac{AD}{sin\, a} = AE$, mithin $x = AE$.

237. Wendet man diesen Satz auf den verticalen Durchmesser A B (Fig. 94) eines Kreises und dessen Sehnen A C oder B C an; so findet man, daß A B, A C und C B gleichzeitige Wege sind. Daß dieses von A B und A C gilt, zeigt schon der rechte Winkel bei C, aber um es auch für A B und C B einzusehen, ziehe man B D senkrecht auf C B, C D vertical, und es sind C B und C D gleichzeitige Wege. Da aber C D = A B, so müssen auch A B und C B gleichzeitige Wege seyn. Es ist klar, daß alle von A und B ausgezogene Sehnen unter einander gleichzeitig seyn werden, weil jede einzelne mit A B gleichzeitig ist. Da durch Drehung des Kreises um einen Durchmesser eine Kugel beschrieben wird; so sieht man, daß alle Sehnen, welche vom höchsten Punkte einer Kugel ausgehen oder im tiefsten Punkte derselben zusammentreffen, gleichzeitige Wege sind.

238. Ein Körper erlangt dieselbe Geschwindigkeit, er mag die Länge A C (Fig. 93) einer schiefen Ebene, oder ihre Höhe A B zurückgelegt haben; denn es ist

$$c = \sqrt{2 g . AB},\quad c' = \sqrt{2 g . AC . sin\, a},$$

aber $AC . sin\, a = AB$, mithin $c = c'$. Eine Folge dieses Satzes ist, daß ein Körper beim Fall durch zwei schiefe Ebenen von verschiedenen Neigungswinkeln aber gleichen Höhen, wie z. B. durch A B und A C (Fig. 95) eine gleiche Geschwindigkeit erlangt.

239. Sind A B und B C (Fig. 96) zwei schiefe Ebenen, die unter dem Winkel A B C zusammenstoßen, so erleidet ein Körper, der sich darauf bewegt, in B einen Verlust an Geschwindigkeit; denn er sucht mit der Geschwindigkeit, mit der er in B anlangt, nach B E fortzugehen. Wird diese Geschwindigkeit durch B E vorgestellt, so zerlege man sie in die auf B C senkrechte B H und in die mit ihr parallele B F, und man sieht leicht ein, daß erstere durch den Widerstand von B C aufgehoben wird, und nur mit letzterer der Körper über B C hinabgleitet. Errichtet man E I auf B E senkrecht, so ist $BE < BI$, mithin der Verlust an Geschwindigkeit, nämlich $BE - BF$, kleiner als $BI - BF$ oder F I. Aber die Proportion $FI : EI = EI : BI$

gibt $FI = \frac{EI^2}{BI}$ und dieser Ausdruck ist wieder kleiner als $\frac{EI^2}{BE}$, daher $BE - BF < \frac{EI^2}{BE}$.

Denkt man sich nun AB und BC als Sehnen einer stetig krummen Lini, und läßt man dieselben unendlich klein werden, wodurch auch der Winkel EBC und mit ihm EI unendlich klein wird, während BE einerlei Größe behält; so sieht man, daß der Verlust an Geschwindigkeit in B kleiner ausfällt, als die zweite Potenz einer Größe, die selbst unendlich abnimmt, folglich unendliche Male wiederholt nur einen unendlich kleinen Totaleffekt herbeiführt. Hieraus ergibt sich die Folge, daß wenn ein Körper über eine stetig krumme Bahn AL (Fig. 95) vermöge seiner Schwere herabgleitet, er in L mit derselben Geschwindigkeit anlangt, welche er im freien Falle von A bis zum Punkte M, der vertical unter A in der durch L gehenden Horizontalebene liegt, bekommen hätte.

240. Bisher wurden die Fälle betrachtet, wo sich ein Körper auf einer Unterlage von bestimmter Form bewegt, durch welche ihm der Weg vorgeschrieben ist, den er zu nehmen hat. Aber die Gesetze der Bewegung, die ein Körper in diesen Fällen befolgen muß, gelten auch, wenn man ihn auf eine andere Weise, z. B. durch ein von oben angebrachtes Hinderniß, an einen solchen Weg bindet. So muß sich ein Körper, der sich um eine Axe drehen kann, die nicht durch seinen Schwerpunkt geht, nach denselben Gesetzen bewegen, als wenn er sich in einer kreisförmigen Rinne befände. Ein solcher Körper, der um eine nicht durch den Schwerpunkt gehende und nicht verticale Axe bebewegt werden kann, heißt ein **Pendel**, und zwar ein **physisches** oder **zusammengesetztes**. Denkt man sich einen schweren Punkt B (Fig. 97) an einer nicht schweren und nicht trägen geraden Linie AB, die um A gedreht werden kann; so hat man einen Begriff von einem **mathematischen** oder **einfachen** Pendel. Man kann aber auch eine kleine Kugel an einem feinen Faden, dessen Länge den Durchmesser der Kugel wenigstens sechsmal übertrifft, ohne großen Fehler als einfaches Pendel ansehen.

241. Wird das einfache Pendel AB aus seiner verticalen Lage AB nach AC gebracht, und da sich selbst überlassen; so wird es durch die Schwere nach B hingetrieben, und beschreibt den mit AB in derselben verticalen Ebene liegenden Bogen CB. Um die Kraft zu finden, welche in jedem Augenblicke auf den schweren Punkt wirkt, sey Cx die Richtung der Schwerkraft, CE = g ihre Beschleunigung, a der Erhöhungs- oder Elongationswinkel CAB, und man zerlege CE in die auf AC senkrechte CF, und die mit ihr parallele CD; so wird letztere durch den Widerstand der Linie CA aufgehoben, und zur Bewegung des Pendels bleibt nur mehr $CF = CE . \sin CEF = g . \sin a$, weil $CEF = ECD = CAB = a$ ist. Da diese Kraft für einerlei Werth von g vom $\sin a$ abhängt, der immer kleiner wird, so wie sich das Pendel der Verticalen AB nähert; so ist die Bewegung von C

bis B eine ungleichförmig beschleunigte. In B hat das Pendel die größte Geschwindigkeit, es muß sich daher vermög der Trägheit weiter bewegen, und zwar wegen des Widerstandes der Linie AB im Bogen BH, und wegen ungleichförmiger Gegenwirkung der Schwere mit ungleichförmig verzögerter Bewegung. Offenbar wird BH gleich CB seyn müssen. In H tritt wieder derselbe Fall ein, welcher in C Statt hatte, das Pendel steigt nach B herab, erhebt sich wieder nach C, und würde so seine Schwingungen ohne Unterlaß fortsetzen, wenn keine Hindernisse diese Bewegung störten.

242. Die Bewegung vom höchsten Punkte der Bahn C (Fig. 97) bis zum höchsten Punkte H an der anderen Seite der Verticalen heißt eine Schwingung. Die Zeit t, in der eine solche vollbracht wird, läßt sich, unter der Voraussetzung, daß der Ausschlagwinkel BAC, Fig. 98, sehr klein ist, aus der gegebenen Länge AB = l des Pendels, auf folgende Weise finden: In der Lage AM des Pendels hat der schwere Punkt desselben eine Geschwindigkeit erlangt, welche derjenigen gleich ist, die er im freien Falle von D bis P erhalten hätte, deren Werth daher durch $\sqrt{2g.DP}$ ausgedrückt wird. Mit dieser beschreibt er ein nächstes unendlich kleines Stückchen Mm seiner Bahn während der Zeit $\tau = \frac{Mm}{\sqrt{2g.DP}}$. Zieht man mp zu den auf AB senkrechten CD, MP parallel, und mn auf MP senkrecht, so ist wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke Mmn, AMP

$$Mm : mn \text{ (oder } Pp) = AM : MP \text{ mithin } Mm = \frac{l.Pp}{MP}.$$

Weil aber auch, einer bekannten Eigenschaft des Kreises zu Folge, $MP^2 = BP(2l - BP)$ ist, wofür man annäherungsweise, wegen der Kleinheit des Winkels BAC, weßwegen BD, also um so mehr BP gegen l sehr klein ist, $MP^2 = 2l.BP$ setzen darf, so hat man

$$\tau = \frac{l.Pp}{\sqrt{2g.2l\ DP.BP}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{Pp}{\sqrt{DP.BP}}.$$

Beschreibt man über BD als Durchmesser einen Halbkreis, der MP und mp in K und k schneidet, so zeigt sich

$$KP = \sqrt{DP.BP} \text{ mithin } \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{Pp}{KP}.$$

Zieht man vom Halbirungspunkte E der BD zu K eine Gerade und ku parallel zu BD, so gibt die Aehnlichkeit der Dreiecke EKP, Kku, ku (oder Pp) : Kk = KP : EK (oder EB); daher ist

$$\frac{Pp}{KP} = \frac{Kk}{EB} \text{ folglich } \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{Kk}{EB}.$$

Theilt man den Bogen CB in unendlich viele Stückchen, wie Mm eines ist, und nimmt man alle Zeittheile, binnen welchen jedes solche Stückchen vom Pendelpunkte durchlaufen wird, zusammen, so erhält man die Dauer der Bewegung durch den Bogen CB, nämlich $\frac{t}{2}$, wenn man $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ mit der Summe aller Werthe multiplicirt, die der Bruch

$\frac{Hk}{EB}$ für jedes erwähnter Theilchen annimmt. Letztere Summe ist offenbar gleich dem Quotienten des Halbkreises DKB, getheilt durch den Halbmesser EB, d. h. gleich π; hieraus folgt

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Für einen größeren Ausschlagwinkel a muß man, wie die höhere Analysis lehrt, setzen:

$$t = \pi \sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{16}\right) \frac{l}{g}}.$$

Ist $\frac{a^2}{16}$ nicht so klein, daß man diesen Bruch bei dem beabsichtigten Grade der Genauigkeit des Resultates vernachläßigen darf, so muß man nach letzterer Formel rechnen.

Haben für ein anderes Pendel T, L, G dieselbe Bedeutung, wie am jetzt betrachteten t, l, g; so ist

$$T = \pi \sqrt{\frac{L}{G}},$$

und

$$T : t = \sqrt{\frac{L}{G}} \ \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Die Formel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ gilt eigentlich nur für die Radlinie, bei welcher l dem Durchmesser des Erzeugungskreises gleichkommt, und t ist in ihr ganz unabhängig von der Größe des Ausschlagwinkels, weil diese Linie die merkwürdige Eigenschaft hat, daß kleine und große Bögen in derselben Zeit zurückgelegt werden.

Es ist für sich klar, daß diese Formel, und daher auch jeder aus ihr folgende Satz, auf alle Fälle angewendet werden kann, in welchen ein Punkt, welcher während seiner Bewegung stets in derselben Entfernung von einem fixen Punkte zu bleiben genöthigt ist, nicht von der Schwere, sondern von einer andern, jedoch in ihrem Wirken dieser analogen Kraft getrieben wird, wofern nur der Punkt von seiner Gleichgewichtslage sich nur wenig entfernt.

243. Heißt n die Anzahl der Schwingungen, welche ein Pendel von der Länge l in einer Zeit $\mathfrak{T}$ macht, N dasselbe für ein Pendel von der Länge L; so ist, wenn T, t, G und g ihre vorigen Bedeutungen beibehalten, $\mathfrak{T} = NT$ und $\mathfrak{T} = nt$, mithin

$$NT = nt \text{ oder } n : N = T : t,$$

das ist

$$n : N = \sqrt{\frac{L}{G}} : \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ oder } n^2 : N^2 = \frac{L}{G} : \frac{l}{g}.$$

Für $l = L$ wird $n^2 : N^2 = g : G$; für $G = g$, $n^2 : N^2 = L : l$.

Hat man ein Pendel von der Länge L, das in einer Secunde N Schwingungen macht; so findet man die Länge des Secundenpendels l aus

$$N^2 : 1 = l : L, \text{ d. i. } l = N^2 L.$$

Diese Gesetze der Pendelschwingungen sind wieder ein Geistesproduct des berühmten Galiläi. Schon in seinem achtzehnten Jahre machte ihn das Schwingen einer Lampe im Dome zu Pisa darauf aufmerksam.

244. Wiewohl diese Gesetze bloß für ein einfaches Pendel entwickelt sind, so lassen sie sich doch auf ein zusammengesetztes anwenden, welches um eine horizontale Axe schwingt. Denn ein solches zusammengesetztes Pendel kann als ein System einfacher, aber ungleich langer, in verticalen Kreisen schwingenden Pendel angesehen werden. Die Schwingungen der kürzeren werden durch die der längeren verzögert, jene der längeren durch die der kürzeren beschleunigt, während jene Punkte, die in einer gewissen, zur Axe des Pendels parallelen, geraden Linie liegen, so schwingen, als ob sie mit den übrigen Punkten des Pendels gar nicht verbunden wären. Diese Punkte heißt man Schwingungspunkte, die Entfernung eines jeden derselben von der Axe gibt die Länge eines einfachen Pendels, dessen Schwingungen dieselbe Dauer haben, wie die des zusammengesetzten, welche Länge mithin diejenige ist, die in Rechnung gebracht werden muß, wenn man die vorhin dargestellten Formeln auf ein zusammengesetztes Pendel anwenden will. Die Linie, in welcher die Schwingungspunkte liegen, heißt die Axe der Schwingungspunkte. Sie hat die merkwürdige Eigenschaft, daß man sie mit der Drehungsaxe verwechseln kann, so daß ein Pendel an ersterer aufgehängt, nun die Schwingungspunkte in der vorigen Drehungsaxe hat. Sind an einer Pendelstange in ungleichen Abständen von den Enden zwei Axen so angebracht, daß sie um jede derselben schwingend Secunden schlägt; so gibt die Entfernung beider Axen die Länge des einfachen Secundenpendels. Hierauf beruht die Einrichtung des Reversionspendels. Daß dabei noch auf die Größe der Schwingungsbogen und auf die Gewichtsverminderung des Pendels in der Luft (206) Rücksicht genommen werden müsse, versteht sich von selbst. Man kann die Länge des mit dem zusammengesetzten Pendel gleichzeitig schwingenden, einfachen Pendels beiläufig finden, wenn man ein einfaches Pendel neben dem zusammengesetzten aufhängt und es so lange verlängert oder verkürzt, bis beide gleichzeitig schwingen. Die Länge des einfachen Pendels gibt dann die Entfernung der Drehungsaxe von der Axe der Schwingungspunkte. Genauer lehrt dieses die Rechnung.

245. Die Gleichzeitigkeit aller Schwingungen eines Pendels, welches immer dieselbe Länge beibehält, empfiehlt es zum bequemen und richtigen Zeitmesser. Man braucht es nur mit einem Räderwerke zu verbinden, welches bei jedem Schlage des Pendels um einen oder mehrere Zähne weiter rückt, und zugleich einen Zeiger mit sich herumführt, der die Anzahl der geschehenen Schwingungen anzeigt. Am sichersten nimmt man dazu ein Secundenpendel, aus dessen Schwingungen man noch leicht ¼ Secunde abnehmen kann.

Bevor man diesen Gebrauch des Pendels kannte, mußte man sich auf eine elende Art mit Wasser- und Sanduhren behelfen, und aus der Menge des Wassers oder Sandes, die aus einer Oeffnung eines weiten Gefäßes abgeflossen, die Zeitdauer abnehmen. Man sieht wohl auf den ersten Blick, wie unsicher dieses Verfahren seyn mußte, und wie viel Dank wir dem berühmten Huyghens schulden, der zuerst den Gebrauch des Pendels als Zeitmesser lehrte. *Christ. Hugenii ho-*

rologium oscillatorium. Paris. 1673. — Auf der Theorie des Pendels beruht auch der musikalische Zeitmesser (métronome); das Centrifugal-Pendel (ein Pendel, welches bei jeder Schwingung eine Kegelfläche beschreibt), und dessen Anwendung auf Tertienzähler.

246. Wenn ein Pendel ein ganz genauer Zeitmesser seyn soll, so muß es von der ausdehnenden Kraft der Wärme so wenig als möglich afficirt werden. Deßhalb muß es stets in Orten aufbewahrt werden, wo der Temperaturwechsel nicht groß ist, oder, wo dieser nicht ganz vermieden werden kann, zu Pendelstangen ein Material gewählt werden, das sich in der Wärme nur wenig ausdehnt, wie z. B. gut ausgetrocknetes, in Oehl gesottenes und dann übersirnißtes Holz. Am besten setzt man Pendelstangen aus mehreren Stücken so zusammen, daß sich die Wirkungen der Wärme gegenseitig aufheben. Eine solche Vorrichtung heißt eine Compensation.

Eine der einfachsten, sinnreichsten Compensationen ist die sogenannte Quecksilbercompensation (Fig. 99). Die Stange A B wird durch die Wärme verlängert, und das Quecksilber C E D so ausgedehnt, daß es den Raum C' E D' einnimmt. Ist nun die Quecksilbermenge richtig ausgemittelt, so senkt sich der Schwingungspunkt des Pendels durch die Ausdehnung der Stange um eben so viel, als er sich wegen Ausdehnung des Quecksilbers erhebt, und die Lage desselben bleibt beständig. Denselben Zweck sucht man auch durch die sogenannten Rostpendel zu erreichen, deren eines Fig. 100 vorstellt. A B ist die Pendelstange von Eisen, von demselben Material sind auch die Stangen C D und c d, während E F und e f von Zink sind. Wenn nun die Ausdehnung des Zinkes doppelt so groß ist, als die des Eisens; so wird, weil das Pendel in G aufgehängt ist, die Senkung des Schwingungspunktes durch die Ausdehnung der Pendelstange A B und der Hilfsstangen C D, c d durch das aufgehoben, um was er sich bei der Ausdehnung der Zinkstangen E F, e f hebt. Sehr sinnreich ist die von Martin angegebene Compensation (Fig. 101). A B ist die Pendelstange, C D ein Querblech, in C und D mit kugelförmigen Massen versehen, die sich der A B durch Schrauben nähern oder davon entfernen lassen. C D besteht aus zwei wohl an einander geschraubten Blechen, die sich in der Wärme verschieden ausdehnen, und wovon das mehr ausdehnbare unten ist. Ist nun C D bei irgend einer Temperatur gerade; so nimmt es bei größerer Wärme die Form C' D', bei geringerer die Form C'' D'' an, und erhält so den Schwingungspunkt des Pendels, ungeachtet der Ausdehnung oder Zusammenziehung der Pendelstange A B, stets in derselben Entfernung von der Axe.

247. Noch wichtiger wird dem Physiker das Pendel dadurch, daß es die Gesetze der irdischen Schwere, die in 98 aus einem allgemeinen Naturgesetze abgeleitet wurden, unmittelbar darthut, und zwar wie folgt: 1) Die Richtung eines ruhigen Pendels zeigt die Richtung der Schwere an. 2) Die Gleichzeitigkeit kleiner Schwingungen bei Pendeln von gleicher Länge, thut die stets unveränderliche Wirksamkeit der Schwere an einem und demselben Orte der Erde dar. 3) Der Umstand, daß Pendel von dem mannigfaltigsten Materiale, wenn sie nur gleich gestaltet sind, gleichzeitig schwingen, beweiset, daß alle Materie gleich schwer sey. 4) Setzt man in

$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, $t = 1$, so wird $g = \pi^2 l = 9.869601$, mithin ist auch die Beschleunigung der Schwere durch die Länge des Secundenpendels gegeben. Für Wien ist $l = 3.144021$ F. 5) Da ein Pendel am Gipfel eines Berges weniger Schwingungen macht, als am Fuße desselben; so nimmt die Schwere ab, wenn man sich vom Erdmittelpunkte entfernt. 6) Durch Pendelbeobachtungen hat man das schon von Newton aufgestellte Gesetz bewährt gefunden, daß die Schwere gegen den Aequator zu abnimmt, gegen die Pole aber wächst; denn Richer fand (J. 1672), daß ein Pendel, welches in Paris Secunden schlug, auf der Insel Cayenne verkürzt werden mußte, um auch dort Secunden zu schlagen. 7) Sogar die Gegenseitigkeit der Anziehung unter allen Körpern der Erde wird aus den Erscheinungen sichtbar, die uns Pendel darbieten. Man bemerkt nämlich, daß ein Pendel in der Nähe großer Berge gegen dieselben abgelenkt wird.

Schon Newton ließ Gold, Silber, Blei, Glas, Sand, Kochsalz, Wasser, Weitzen und Holz in gleichen Kreisbogen schwingen, und fand, daß ihre Schwingungen gleichzeitig seyn; neuestens hat Bessel ähnliche Versuche mit der diesem ausgezeichneten Forscher eigenen Genauigkeit angestellt, und zwar mit Gold, Silber, Blei, Eisen, Zink, Messing, Marmor, Thon, Quarz, Wasser, Meteoreisen und Meteorstein, aber keine Andeutung erhalten, daß der Satz, alle Körper seyen gleich schwer, nicht wirklich das Naturgesetz sey. (Pogg. Ann. 25. 401.)

Bouguer und Condamine fanden, daß ein Pendel, welches am Ufer des Meeres in 24 Stunden 98770 Schwingungen machte, es zu Quito (9036 Fuß höher) nur auf 98740, auf dem Pichincha (14988 Fuß über dem Meere) gar nur auf 98720 Schwingungen brachte. Bouguer berechnete hieraus die Abnahme der Schwere und fand, daß sie, wenn man sie an der Meeresfläche = 1 setzt, zu Quito 0.999249, auf dem Pichincha 0.998816 sey. — Man kann es als eine durch die Erfahrung bestätigte Sache ansehen, daß die Länge l eines Secundenpendels unter der Breite φ in P. Linien ausgedrückt werden kann, durch

$$l = 439.2066 + 2.3862 \sin \varphi^2,$$

wo 439.2066 die Länge des Sexagesimal-Secundenpendels unter dem Aequator in P. Linien bezeichnet. — Mehr über Pendelbewegungen liefert besonders Kraft's Mechanik, übersetzt von Steingruber, Dresden, 1787, S. 260—350. Gehler's neues Wörterbuch: Pendel.

C. Bewegung, welche entsteht, wenn eine momentan und eine continuirlich thätige Kraft zugleich auf ein Bewegliches wirken.

248. Die Bewegungen, welche durch gemeinschaftliche Thätigkeit momentan und continuirlich wirkender Kräfte erzeugt werden, lassen sich in ihrem ganzen Umfange keineswegs darstellen, wenn man nicht zu Lehren der höheren Analysis seine Zuflucht nimmt. Da dieses hier nicht geschehen darf, so können auch nur einige dieser Bewegungen abgehandelt werden.

249. Bekommt ein schwerer Körper durch eine momentan wirkende Kraft einen Stoß vertical aufwärts oder abwärts, und dadurch eine Geschwindigkeit = h; so wird für den in der Zeit t zurückgeleg-

ten Weg s und die in derselben Zeit erlangte Geschwindigkeit c

$$s = ht \pm \frac{gt^2}{2}; \quad c = h \pm gt,$$

wo das Zeichen + gilt, wenn der Stoß abwärts, hingegen, — wenn er aufwärts wirkt. Es ist klar, daß ein Körper im letzteren Falle so lange steigt, bis seine Geschwindigkeit = o ist. Heißt t' die Zeit, welche er bis dahin braucht, s' der zurückgelegte Weg, so ist

$$h - gt' = o \text{ oder } \frac{h}{g} = t' \text{ und } s' = ht' - \frac{gt'^2}{2} = \frac{h^2}{2g}.$$

250. Wird ein schwerer Körper **horizontal** geworfen, so beschreibt er eine Parabel, deren Axe vertical steht. Denn wenn er vermöge der Wurfkraft in irgend einer beliebigen Zeit den Weg AB (Fig. 102), und in zwei solchen Zeiten den Weg AC, in drei Zeiten den Weg AD zurücklegen würde, falls ihn die Schwere nicht abwärts zöge, hingegen durch bloße Wirkung der Schwere in der ersten Zeit den Weg AE, in zwei Zeittheilen den Weg AF, in drei den Weg AG; so muß er sich durch die gleichzeitige Wirkung beider Kräfte nach Verlauf der ersten Zeiteinheit vertical unter B in H, nach Verlauf der zweiten vertical unter C in I, nach Verlauf der dritten unter D in K u. s. w. befinden, so daß BH = AE, CI = AF, DK = AG ist u. s. w.; mithin den Weg AHIK zurücklegen. Es ist aber

$$EH : FI : GK : \text{etc.} = 1 : 2 : 3 : \text{etc.}, \text{ und daher}$$
$$EH^2 : FI^2 : GK^2 : \text{etc.} = 1 : 4 : 9 : \text{etc.}; \text{ ferner}$$
$$AE : AF : AG : \text{etc.} = 1 : 4 : 9 : \text{etc.}; \text{ mithin}$$
$$EH^2 : FI^2 : GK^2 : \text{etc.} = AE : AF : AG : \text{etc.}$$

eine Eigenschaft, die nur einer Parabel zukommt, welche AG zur Axe hat.

251. Wird ein Körper schief gegen den Horizont geworfen, so daß die Richtung Ax des Wurfes mit einer Horizontallinie Ay, die mit Ax in derselben Verticalebene liegt, einen spitzen Winkel xAy, die sogenannte **Elevation** des Wurfes, bildet, und ist c = AB die dem Körper nach der Richtung Ax ertheilte Geschwindigkeit; so läßt sich diese in eine horizontale h = AC und in eine verticale v = AD zerlegen. Vermöge der ersten schreitet der Körper parallel mit Ay gleichförmig fort; letztere wird durch die Schwere bekämpft, daher nimmt der Körper parallel mit der verticalen Az eine gleichförmig verzögerte Bewegung an: indem er diesen beiden Bewegungen Folge leistet, beschreibt er eine Bahn AO, deren höchsten Punkt O er in dem Augenblicke erreicht, in welchem der verticale Theil v seiner anfänglichen Geschwindigkeit durch den Einfluß der Schwere ganz vernichtet worden ist, so daß ihm dort nur mehr der horizontale Theil h dieser Geschwindigkeit zukommt. Da er sich in O in demselben Zustande befindet, als würde er horizontal, nämlich nach Ou mit der Geschwindigkeit h geworfen, so beschreibt er den absteigenden Ast OE einer Parabel, deren Axe die durch O gehende Verticallinie OK ist (250). Aber offenbar stimmt der aufsteigende Ast AO der Bahn mit OE überein, weil die Schwere den verticalen Theil der Bewegung des Körpers auf dieselbe Weise abwärts beschleunigt, wie sie denselben aufwärts verzögert

hat, weßwegen die verticale Componente der Geschwindigkeit in gleichen Abständen von der OK einerlei Größe und nur entgegengesetzte Richtungen hat. Es ist also auch hier die Bahn des geworfenen Körpers eine Parabel mit verticaler Axe. Die Entfernung des Durchschnittspunktes E der Bahn mit dem Horizonte von A, nämlich AE, heißt die Wurfweite. Nennt man die Zeit, während welcher der Körper von A bis E geht, 2T, so ist offenbar $AE = 2hT$ (227). Aber es ist $v = gT$, also $T = \frac{h}{g}$; daher $AE = \frac{2hv}{g}$. Das Product hv drückt die Oberfläche des Rechteckes ACBD aus, welche das Doppelte des Dreieckes ACB ist, mithin wenn man $DL = p$ senkrecht auf AB zieht, durch das Product $AB . DL = cp$ gemessen wird; es ist demnach $hv = cp$, also die Wurfweite $AE = \frac{2cp}{g}$. Diese erhält, bei einerlei Größe der Wurfgeschwindigkeit c, den größten Werth, wenn p am größten ausfällt. Weil die Peripherie eines über AB als Durchmesser verzeichneten Halbkreises stets durch D geht, so sieht man, daß der größte Werth, dessen p fähig ist, dann Statt findet, wenn D in die Mitte des Halbkreises ADB fällt, d. h. $p = \frac{1}{2}c$ wird. Damit dieß geschehe, muß $AD = DB$, also der Winkel $DBA = xAy = 45°$ seyn. Dann wird $AE = \frac{c^2}{g}$. Für zwei Elevationen des Wurfes, welche einander zu 90° ergänzen, werden bloß die Werthe von h und v verwechselt; diesen Elevationen entsprechen also gleiche Wurfweiten. Auch sieht man leicht, daß wenn $xAy = 15°$ oder $= 75°$ ist, $p = \frac{1}{4}c$ wird; folglich $AE = \frac{c^2}{2g}$ sich auf die Hälfte der größten Wurfweite reducirt.

Die Gesetze des Wurfes wurden zuerst von Galiläi entwickelt.

252. Wenn ein Körper von einer ununterbrochen nach demselben Punkte wirkenden Kraft gezogen wird, während er durch eine andere, momentan wirkende Kraft eine seitwärts gehende Bewegung erhalten hat; so entsteht eine Centralbewegung. Die beiden wirkenden Kräfte heißt man Centralkräfte, und zwar jene Centripetalkraft, diese Tangentialkraft.

253. Es wirke die Centripetalkraft auf A (Fig. 104) nach AC, die Tangentialkraft nach Ax, und man nehme an, daß die Centripetalkraft nicht ununterbrochen wirke, sondern daß eine Wirkung auf die andere in der Zeit τ folge, ferner daß A in der Zeit τ durch die Tangentialkraft den Weg AB zurücklege, durch bloße Wirkung der Centripetalkraft aber den Weg AD; so kommt A durch die Wirkung beider in derselben Zeit nach E, wenn AE die Diagonale des Parallelogramms ABED ist. Wenn hier keine fernere Wirkung der Centripetalkraft erfolgte, so würde A in der Geraden Ay fortgehen und in der Zeit τ wieder den Weg $EF = AE$ zurücklegen. Weil aber in E wieder die Wirksamkeit der Centripetalkraft eintritt, vermög welcher A in τ den Raum EG beschriebe, wenn es nicht schon in E eine Bewegung hätte; so muß es nach H kommen. Hier tritt wieder derselbe Fall ein,

wie in E, so daß es klar genug ist, daß der Weg AEH keine gerade Linie seyn kann. Bei der Voraussetzung einer stoßweise erfolgenden Wirkung der Centripetalkraft wäre der Weg des Beweglichen ein Polygon, das in der Ebene der Kräfte liegt. Dieses Polygon wird sich aber einer continuirlich krummen Linie desto mehr nähern, je kleiner τ ist. Für $\tau = \frac{1}{\infty}$, d. i. für eine ununterbrochen wirkende Centripetalkraft wird der Weg wirklich eine krumme Linie. Ihre Beschaffenheit hängt von der Stärke der Tangentialkraft, von der Stärke und dem Gesetze der Ab- und Zunahme der Centripetalkraft, und von der Lage des Mittelpunktes der Kräfte ab, kann aber nur durch Hilfe der höheren Analysis ohne gar viele Umschweife gezeigt werden.

254. Die Sectoren ACE und ECH, welche in gleichen Zeiten beschrieben werden, sind einander gleich; denn zieht man CF, so ist $\Delta ACE = \Delta ECF$, weil sie einerlei Höhe und gleiche Basis haben; ferner $\Delta ECF = \Delta ECH$, weil EC und FH parallel sind; mithin auch $\Delta ACE = \Delta ECH$. — Umgekehrt, wenn bei einer Bewegung in gleichen Zeiten gleiche Sectoren beschrieben werden, so zielt eine von den Kräften, welche sie hervorbringen, stets nach demselben Punkte, oder die Bewegung ist eine Centralbewegung. Denn gesetzt, es werde in der Zeit τ der Sector ACB (Fig. 105) und in gleicher Zeit der Sector BCD beschrieben. Wenn in B keine Kraft mehr auf das Bewegliche wirkte, so müßte es nach der Geraden ABE fortschreiten und in der Zeit τ den Weg $BE = AB$ zurücklegen; da es aber nach BD abgelenkt wird, so kann man die Größe und Richtung der ablenkenden Kraft finden, wenn man DE zieht und das Parallelogramm BFDE vollendet, wo BF die gesuchte Größe seyn wird. Zieht man CE, so ist $\Delta ACB = \Delta BCE$, aber auch vermöge der Voraussetzung $\Delta ACB = \Delta BCD$, mithin $\Delta BCD = \Delta BEC$. Es haben aber diese Dreiecke dieselbe Basis CB, folglich müssen BC und ED parallel seyn, welches nur möglich ist, wenn BF auf BC fällt, und daher das Bewegliche stets nach C hingezogen wird.

Dieser Satz ist ein specieller Fall des dynamischen Princips der Erhaltung der Flächen.

255. Bewegt sich ein Körper in der krummen Linie AB (Fig. 106) vermög Centralkräften, so läßt sich das Verhältniß seiner Geschwindigkeiten in verschiedenen Punkten A und B seiner Bahn folgendermaßen finden: Es komme das Bewegliche in einem Zeittheilchen, das für sehr klein angenommen wird, von A nach a, und in derselben Zeit von B nach b; so sind Aa und Bb den Geschwindigkeiten in A und B proportionirt. Zieht man nun nach dem Mittelpunkte C der Centralkräfte die Linien AC, aC und BC, bC, so ist $\Delta ACa = \Delta BCb$. Sind Ax und By Tangenten zu A und B, ferner CD auf Ax, CE auf By senkrecht; so ist

$$\Delta ACa = Aa . \frac{CD}{2}, \quad \Delta BCb = Bb . \frac{CE}{2}, \text{ mithin auch}$$

$Aa : Bb = BE : CD$, d. i. die Geschwindigkeiten verhalten sich verkehrt

wie die Senkrechten, welche vom Mittelpunkte der Kräfte auf die Tangente des Ortes des Beweglichen gezogen werden. Hieraus ersieht man schon, daß die Bewegung in einem Kreise, dessen Mittelpunkt zugleich jener der Centralkräfte ist, gleichförmig, hingegen in einer Ellipse, deren ein Brennpunkt Mittelpunkt der Centralkräfte ist, theils beschleunigt, theils verzögert seyn müsse.

256. Geschieht die Bewegung durch Centralkräfte in einem Kreise, so ist $AC = EC = HC$ (Fig. 104), also auch $AE = EH$, weil die Sectoren ACE, ECH einerlei Flächen haben, woraus wieder erhellet, daß die Bewegung gleichförmig seyn muß. Aber es ist $AE = EF = GH$, mithin auch $EH = GH$. Es sind also die Dreiecke GEH, CEH beide gleichschenklig, und wegen des gemeinschaftlichen Winkels an den Grundlinien, nämlich CEH, ähnlich. Hieraus folgt die Proportion $EG : EH = EH : EC$, welche $EG = \frac{EH^2}{EC}$ gibt. Hierdurch läßt sich die Größe der Centripetalkraft bei der Bewegung in einem Kreise leicht finden. Nennt man nämlich die Geschwindigkeit des Beweglichen in seiner Bahn, d. h. jene mit welcher es die Wege AE, EH, ... jeden während der Zeit τ durchläuft, c; ferner die Geschwindigkeit, die ihm in Folge der Einwirkung der stoßweise thätigen Centralkraft im Punkte E zu Theil wird, und vermöge welcher es für sich allein binnen der Zeit τ den Weg EG zurücklegen würde, γ; endlich den Halbmesser des Kreises $EC = r$: so ist $EH = c\tau$, $EG = \gamma\tau$, mithin $\gamma\tau = \frac{c^2\tau^2}{r}$, woraus $\frac{\gamma}{\tau} = \frac{c^2}{r}$ folgt. Bezeichnet man durch g die Acceleration, welche die Centralkraft hervorbringen würde, wenn sie eine Zeiteinheit hindurch mit der Stärke fortwirkte, die sie im Punkte E hat, und sieht man γ als die Geschwindigkeit an, welche sie während der Zeit τ, die als unendlich klein betrachtet werden kann, erzeugt, so hat man [231 (2)] $\gamma = g\tau$, daher $\frac{\gamma}{\tau} = g$, also $g = \frac{c^2}{r}$. Die Größe der Centripetalkraft p wird durch das Product gm ausgedrückt, worin m die Masse des Beweglichen angibt, daher ist

$$p = \frac{c^2 m}{r}$$

die Formel für die Centripetalkraft bei der Kreisbewegung. Dieselbe Formel läßt sich auf die Bewegung in jeder anderen Bahn anwenden, wenn r den Krümmungshalbmesser für den Punkt vorstellt, in welchem das Bewegliche sich befindet. Heißt die Zeit, in welcher ein Umlauf im Kreise gemacht wird, t, und das Kreisverhältniß π; so ist

$$c = \frac{2\pi r}{t}, \text{ und daher}$$

$$p = \frac{4\pi^2 r m}{t^2}.$$

Bedeuten M, P, R, T dasselbe für einen zweiten Kreis: so ist

$$P : p = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}.$$

257. Nimmt man an $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$, so erhält man mittelst

$$P : p = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}$$

die Proportion $\frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2} = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}$, oder

$$T^2 : t^2 = R^3 : r^3,$$

d. h. wenn sich die Centripetalkräfte gerade verhalten wie die Massen und verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen, so verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der Entfernungen. Dieses gilt auch umgekehrt; denn setzt man voraus:

$T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, so hat man mittelst

$$P : p = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}$$

die neue Proportion $P : p = \frac{M}{R^2} : \frac{m}{r^2}$.

Dieses Gesetz heißt das Kepler'sche, weil es der große Kepler nebst dem 254 erwiesenen, und einem dritten am 15. Mai 1618 an der Bewegung der Himmelskörper befolgt fand. Die theoretischen Sätze über die Centralbewegung verdanken wir dem unsterblichen Newton.

258. Wenn ein Körper durch Centralkräfte, oder durch eine Kraft und einen Widerstand gezwungen wird, sich in einer krummen Bahn zu bewegen; so bekommt er, vermöge seiner Trägheit, ein Bestreben, sich von dieser Bahn zu entfernen, welches man Fliehkraft oder Schwungkraft nennt. Es sey z. B. Ax (Fig. 107) eine krumme Bahn, in der sich ein Körper bewegt, und man nehme der Leichtigkeit wegen an, sie sey kreisförmig. Ist er bis B gelangt, so sucht er wegen seiner Trägheit nach der Tangente BC fortzugehen. Gesetzt, er thue dieses wirklich, und beschriebe den sehr kleinen Weg BC, so kann man sich BC in BD und BE zerlegt denken, wovon erstere fast in der Richtung des Halbmessers liegt, letztere aber fast mit dem Bogen BE zusammenfällt. Fährt aber der Körper fort, sich im Bogen BE zu bewegen, so muß ein Widerstand oder eine Kraft da seyn, wodurch BD aufgehoben wird. BD ist nun der Fliehkraft proportionirt. Bei der Bewegung im Kreise ist sie der Centripetalkraft gleich und entgegengesetzt, kann daher auch wie diese ausgedrückt werden. Ist p die Fliehkraft für die Masse m, r der Halbmesser des Kreises, c die Geschwindigkeit in der Bahn, t die Umlaufszeit; so ist

$$p = \frac{c^2 m}{r} = \frac{4\pi^2 r m}{t^2}.$$

Bedeuten C, M, P, R, T dasselbe für einen anderen Kreis, so wird

$$P = \frac{C^2 M}{R} = \frac{4\pi^2 R M}{T^2},$$

$$P : p = \frac{C^2 M}{R} : \frac{c^2 m}{r} = \frac{RM}{T^2} : \frac{rm}{t^2}.$$

259. Wenn sich ein Körper um eine Axe dreht, so bekommen alle außer derselben liegenden Theile ein Bestreben, sich nach einer auf sie

senkrechten Richtung von ihr zu entfernen. Sind die Theile eines solchen Körpers verschiebbar, so kann dadurch eine Aenderung in der Gestalt desselben oder gar eine Trennung Statt finden. Eine weiche Kugel, die sich um einen ihrer Durchmesser dreht, bekommt eine abgeplattete Gestalt, weil die Theile, welche in der Ebene des größten, auf der Axe senkrechten Kreises liegen, eine größere Schwungkraft haben, als diejenigen, welche sich in einer anderen Ebene befinden. Sind die Theile eines sich drehenden Körpers nicht verschiebbar, so geht aus ihrer Schwungkraft eine Wirkung auf die Axe hervor. Ist die Axe vollkommen symmetrisch von Masse umgeben, so wird die Schwungkraft jedes Theilchens durch die gleiche und entgegengesetzte eines anderen Theilchens aufgehoben, und es heben sich daher ihre Wirkungen auf die Axe auf. Darum heißt diese auch eine freie Axe. Von der Art ist die Axe der Erde, jene unserer gewöhnlichen Schwungräder 2c. Eine solche kann während der Dauer der drehenden Bewegung nur durch eine bedeutende Kraft verrückt werden, wenn der Körper auch während des Zustandes der Ruhe durch die kleinste Kraft aus dieser Lage gebracht werden kann, weil die Schwungkraft jedes Theilchen in der Ebene zu erhalten sucht, in der es sich zu drehen begann.

Dieses läßt sich besonders gut mit einem von Bohnenberger angegebenen Instrumente versinnlichen, das in Fig. 108 abgebildet ist. Es besteht aus drei, unter rechten Winkeln gegen einander beweglichen Ringen A, und aus einer innerhalb des kleinsten derselben angebrachten massiven, um ihre Axe beweglichen Kugel B. An der Axe derselben ist eine kleine Rolle c angebracht. Gibt man dem inneren Kreise, und dadurch auch der Axe der Kugel eine schiefe Lage, befestiget an einem Stifte der Rolle eine mit einer Schlinge versehene feine Schnur, wickelt sie fast ganz auf, und setzt dann durch einen raschen Zug an diesem Faden, wodurch man ihn ganz abwickelt, die Kugel in eine schnell drehende Bewegung; so kann man das Instrumentchen frei herumtragen, und die Axe wird immer nach derselben Gegend hinsehen; selbst kleine Steinchen, die man auf den Umfang des inneren Ringes herabfallen läßt, bringen es nicht aus seiner Lage, wiewohl es im ruhigen Zustande durch die kleinste Berührung verrückt wird. Bringt man am unteren Theile des inneren Ringes ein kleines Gewichtchen an, welches denselben, wenn kein Drehen Statt findet, so herabzieht, daß die Axe der Kugel vertical steht, neigt dann den inneren Kreis gegen den Horizont und erregt die drehende Bewegung; so nimmt die Axe nicht alsogleich die verticale Lage an, sondern bewegt sich nach einer Richtung, welche der Richtung der Rotation der Kugel entgegengesetzt ist, und zwar mit einer desto größeren Geschwindigkeit, je langsamer die Axendrehung der Kugel wird. (Gilb. Ann. 60. 60.) — Aus der Fliehkraft erklären sich: das Spitzen nasser Räder oder der Schleifsteine beim Umdrehen, das heftige Herumschleudern der Stücke eines gebrochenen, im Laufe begriffenen Rades oder Mühlsteines, das oftmalige Losreißen eines Hammers vom Stiele während des Schwunges; Heß's Wassermaschine [ein System offener, um eine verticale Axe beweglicher und gegen dieselbe geneigter Röhren, die unten im Wasser stehen, oben aber in eine Rinne sich münden (Fig. 109)]; die Wirkung der Schleuder, der Ventilatoren, und die vielerlei Erscheinungen, welche mittelst der sogenannten Centralmaschine hervorgebracht werden. Siehe über Centralbewegung: *Newtoni philosophiae naturalis principia mathe-*

matica. Lond. 1687. Perpetuis comment. illustrata communi studio P. P. Jacquier et le Seur et D. Calandrini. Genev. 1793. Comment. illust. potissimum Joan. Tessanek. Prague 1780. Tom. I.

D. Stoß der Körper.

260. Wenn ein Körper an eine bewegliche Masse stößt, so erleidet er nicht nur eine Veränderung, sondern bewirkt auch eine an der gestoßenen Masse. Die Größe und Beschaffenheit dieser Veränderung hängt von der Richtung der bewegten und zusammenstoßenden Körper, von ihrer Geschwindigkeit, Masse und Gestalt, ja auch von ihrer Elasticität und ihrem Aggregationszustande ab. Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtung der Bewegung der Körper auf der Ebene, wo sie einander im Anfange des Stoßes berühren, senkrecht ist, sonst schief; man nennt ihn central, wenn die Richtung der Körper vor dem Stoße durch deren Schwerpunkt geht, excentrisch, wenn dieses nicht der Fall ist. Bei kugelförmigen, homogenen Körpern, die hier vorzüglich betrachtet werden sollen, ist jeder gerade Stoß auch ein centraler.

261. Wie der Stoß auch beschaffen seyn mag, so geht doch immer eine Veränderung in der Bewegung der Körper vor. Da häufig bei einer solchen Veränderung die Geschwindigkeit aller Theile eines Körpers bis zu einem bestimmten Grade wachsen muß, und dieses nicht augenblicklich geschehen kann; so wird dazu auch eine gewisse Zeit erfordert. Wirkt nun eine Masse auf eine andere zu schnell, als daß sich die Geschwindigkeit in alle Theile bis zum gehörigen Grade in rechter Zeit verbreiten könnte; so werden die unmittelbar getroffenen Punkte des gestoßenen Körpers die ganze Gewalt des Stoßes aushalten müssen. Ist der Zusammenhang der Theile nicht groß genug, um dieser Gewalt zu widerstehen, so erfolgt eine Trennung. Dieses erläutern unzählige Erscheinungen. Z. B. ein Bret, welches so aufgestellt worden, daß es durch einen mäßigen Druck umgeworfen werden kann, bleibt stehen, wird aber durchlöchert, wenn es von einer scharfen Flintenkugel getroffen wird; eine Glastafel wird von einer solchen Kugel durchlöchert, ohne zersplittert zu werden, während letzteres bei einem schwächeren Drucke, der eine Trennung der Glastheile zur Folge hat, nie unterbleibt; ein schwacher Faden, der einen Stein hebt, wenn man dabei langsam anzieht, zerreißt, wenn man beim Anziehen zu eilig verfährt; Schießpulver in ein dazu bestimmtes Felsloch geschüttet und mit losem Sande bedeckt, zersprengt den Fels, wenn es angezündet wird, u. a. m.

262. Sind M und m unelastische Massen, die sich mit den Geschwindigkeiten C und c, und zwar gerade und central stoßen; so ist MC die Größe der Bewegung der ersten, mc die Größe der Bewegung der zweiten Masse, und es ist einerlei, ob M mit der Geschwindigkeit C auf m wirkt, oder ob die Kraft, welche der Masse M die Geschwindigkeit C ertheilte, unmittelbar ihre Wirkung auf m äußert. Bewegen sich nun M und m gegen einander, und es ist $MC = mc$,

so ruhen beide Massen nach dem Stoße. Ist aber $MC > mc$, so bleibt von den Kräften MC und mc nach dem Stoße noch $MC - mc$, und diese Kraft muß die Masse $M + m$ nach der Richtung, welche der Masse M vor dem Stoße eigen war, fortbewegen. Geschieht dieses mit der Geschwindigkeit x, so ist

$$MC - mc = (M + m)\,x, \text{ oder } \frac{MC - mc}{M + m} = x.$$

Bewegen sich beide Massen in derselben Richtung, so muß die anstoßende Masse M der gestoßenen m Bewegung mittheilen, dadurch verliert sie aber selbst, und zwar so lange, bis beide Massen mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten. Heißt diese Geschwindigkeit x, so ist $MC + mc$ das Maß der Resultirenden vor dem Stoße, $(M + m)\,x$ dasselbe nach dem Stoße, und daher $M\,(C - x)$ der Verlust an bewegender Kraft bei der Masse M, $m\,(x - c)$ der Gewinn bei der Masse m, und

$$M\,(C - x) = m\,(x - c), \text{ oder } x = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Für $c = 0$ wird $x = \frac{MC}{M + m}$.

Alle drei Fälle stellt die Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ dar, wo c positiv oder negativ genommen wird, je nachdem es mit C der Richtung nach übereinstimmt, oder ihr entgegengesetzt ist, d. i. je nachdem sich beide Massen vor dem Stoße nach einer oder nach entgegengesetzten Richtungen] bewegen.

263. Aus den Gesetzen des Stoßes für unelastische Massen lassen sich leicht jene ableiten, welche beim Stoße elastischer Körper Statt finden; man braucht nur den Einfluß der Elasticität mit in Rechnung zu bringen. Um die Beschaffenheit dieses Einflusses einzusehen, betrachte man, was sich ereignet, wenn ein elastischer Körper an eine feste, unbewegliche Wand anstößt. Sobald der Stoß beginnt, wird der Körper zusammengedrückt, so daß sein auf der getroffenen Fläche senkrechter Durchmesser vermindert wird; dabei erleidet er dieselbe Veränderung, als wenn er fest wäre, d. i. er verliert stufenweise seine Bewegung. So wie seine Geschwindigkeit vermindert wird, läßt auch der Druck auf die Fläche nach; wenn er diese ganz eingebüßt hat, fängt er an, seine vorige Gestalt wieder anzunehmen und sich auszudehnen. Dadurch erlangt er die vorhin verlorne Größe der Bewegung von Neuem, aber nach entgegengesetzter Richtung, vorausgesetzt, daß er vollkommen elastisch ist. Wäre dieses nicht der Fall, so würde er nur einen Theil der verlornen Größe der Bewegung wieder erlangen.

264. Stoßen zwei elastische Massen (Fig. 110) M und m zusammen, so ist leicht einzusehen, daß jede für sich eine Veränderung erleidet, die jener ähnlich ist, welche vorhin angegeben wurde. Gesetzt die Massen M und m schreiten vor dem Stoße mit den Geschwindigkeiten C und c fort, wo c negativ ist, wenn m eine der M entgegengesetzte Richtung hat. Berühren sich beim Beginne des Stoßes die Massen in

A, so mag BAC eine Ebene seyn, die auf der Richtung der Bewegung der Körper M und m senkrecht steht, und gegen welche der Stoß beider Massen gerichtet ist. Offenbar ist hier alles so wie vorhin (263), nur mit dem Unterschiede, daß die Ebene BAC selbst beweglich gedacht werden muß. Deßhalb wird auch die Geschwindigkeit des anstoßenden Körpers in dem Augenblicke, wo die Zusammendrückung in Ausdehnung übergeht, nur in so weit verloren gegangen seyn, bis sie der Geschwindigkeit der Ebene BAC oder des gestoßenen Körpers gleich kommt; denn in diesem Falle ist es gerade so, als wenn die anstoßende Masse und die Ebene BAC gegen einander in Ruhe wären. Ist x die Geschwindigkeit der Ebene BAC, im Augenblicke der größten Zusammendrückung beider Massen, d. h. sind bis dahin die Bewegungsgrößen MC und mc der Massen M und m in Mx und mx übergegangen, so erleidet, in Folge des Ausdehnens, die Masse M den bis zur größten Zusammendrückung eingetretenen Verlust M (C — x) an Bewegungsgröße noch einmal, während der Masse m der Gewinn an Bewegungsgröße m (x — c) noch einmal zu Theil wird. Sind C′, c′ die Geschwindigkeiten der Massen M, m nach dem Stoße, so ist diesem gemäß offenbar

$$C' = x - (C - x) = 2x - C,$$
$$c' = x + (x - c) = 2x - c.$$

Aus diesen Formeln ergeben sich mehrere wichtige Folgerungen. Setzt man M = m, so erhält man wegen $x = \frac{C+c}{2}$ (262) $C' = c$ und $c' = C$; d. i. elastische Körper von gleicher Masse vertauschen durch den Stoß ihre Geschwindigkeiten.

Ruht die Masse m, so ist wegen $x = \frac{MC}{M+m}$ und $c = 0$,

$$C' = \frac{(M-m)C}{M+m}, \quad c' = \frac{2MC}{M+m}.$$

Der Werth von C′ ist nun positiv oder negativ, je nachdem $M > m$ oder $M < m$ ist; daher werden auch die Richtungen der Bewegung des anstoßenden Körpers für die beiden Fälle einander entgegengesetzt seyn.

Aus den obigen allgemeinen Werthen für C′ und c′ folgt

$$c' - C' = C - c,$$

d. i. die relative Geschwindigkeit beider Körper nach dem Stoße ist der relativen Geschwindigkeit vor dem Stoße gleich, aber der Richtung nach entgegengesetzt.

Dieselben Werthe von C′ und c′ geben:

$$MC'^2 + mc'^2 = 4x^2(M+m) - 4x(MC+mc) + MC^2 + mc^2,$$
$$4x[x(M+m) - MC - mc] + MC^2 + mc^2.$$

Aber es ist (262)

$$x(M+m) - MC - mc = 0; \text{ daher}$$
$$MC'^2 + mc'^2 = MC^2 + mc^2,$$

d. i. beim Stoße vollkommen elastischer Körper ist die Summe der sogenannten lebendigen Kräfte vor und nach dem Stoße gleich. Letzteres ist ein besonderer Fall des sogenannten Princips der Erhaltung lebendiger Kräfte.

Die Gesetze des Stoßes wurden fast gleichzeitig von Wallis, Huyghens und Wren entdeckt.

265. Um die Uebereinstimmung dieser Gesetze mit der Erfahrung zu prüfen, bedient man sich der sogenannten Stoßmaschine, wie sie Nollet und s'Gravesande angegeben haben. Das Wesentlichste einer solchen Geräthschaft besteht in mehreren, an gleich langen Fäden AB und CD (Fig. 111) hängenden Kugeln, die so neben einander hängen, daß ihre Körper B und D einander berühren und ihre Mittelpunkte in derselben Höhe liegen. Hinter ihnen befindet sich ein Kreisbogen EF, der von seinem untersten Punkte angefangen nach aufwärts zu beiden Seiten in Grade getheilt ist. Wird einer dieser Körper bis G gehoben und dann frei gelassen, so erlangt er beim Fallen durch den Bogen GB eine Geschwindigkeit, die man nach 239 finden, und gleich am Gradbogen selbst ein- für allemal anmerken kann. Zu Versuchen über den Stoß fester, unelastischer Körper, nimmt man Massen aus trockenem Thone oder Mehlteig, für elastische wählt man Elfenbein oder Guajakholz. Hängt man mehrere elastische Kugeln von gleichem Durchmesser neben einander, hebt dann eine gewisse Anzahl auf, und läßt sie zugleich herabfallen, damit sie an die übrigen anstoßen; so fliegen auf der entgegengesetzten Seite gerade so viele weg, als auf der anderen gehoben wurden. Der Grund dieser Erscheinung liegt in 264. Wählt man solche Kugeln, die von einer Seite gegen die andere beständig an Größe zunehmen, und man ertheilt der größten derselben eine gewisse Geschwindigkeit; so muß die zweite dadurch schon eine größere Geschwindigkeit erlangen, die dritte eine noch größere, und so fort bis zur kleinsten und letzten, welche die größte Geschwindigkeit haben wird.

Huyghens führt in seinem Werke *de motu corporum ex percussione* (*op. posth. Tom. II. pag.* 104) folgendes Beispiel an: Hängen 100 elastische Kugeln neben einander, deren Massen wachsen, wie die Zahlen 1, 2, 4, 8 rc., und es stoßt die größte mit der Geschwindigkeit 1 an die nächstfolgende; so muß die letzte mit einer Geschwindigkeit fortfliegen, die nahe durch 2338500000000 ausgedrückt wird.

266. Beim schiefen Stoß läßt sich die Wirkung der bewegten Körper immer in zwei auflösen, wovon eine für sich einen geraden Stoß gibt, während die andere gar nichts zum Stoße beiträgt. Betrachtet man daher die erstere für sich allein, und findet die Geschwindigkeit und Richtung nach dem Stoße, die daraus hervorgehen würde, setzt diese mit der vorhin außer Acht gelassenen zusammen; so erhält man die wahre Richtung und Geschwindigkeit nach dem Stoße. Gesetzt, es bewege sich eine unelastische Masse nach der Richtung AB (Fig. 112) gegen die unbewegliche Ebene CD, und es sey ihre Geschwindigkeit durch BE ausgedrückt. Löst man BE in die mit CD parallele BF und in die auf ihr senkrechte BG auf; so sieht man, daß letztere durch den Widerstand der Ebene aufgehoben wird, und daß sich der Körper nach dem Stoße längs der CD mit der Geschwindigkeit BF fortbewegen muß. Ist der Körper elastisch, so wird im Momente des

Zusammendrückens BG aufgehoben, aber im Momente der Ausdehnung eine Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung erzeugt, die bei vollkommener Elasticität des Körpers gleich BG, widrigenfalls aber kleiner ist als BG. Ist nun in der Voraussetzung des ersteren Falles BH = BG, so nimmt der Körper nach dem Stoße die Richtung der Diagonale BI des Parallelogramms BHIF, und man kann leicht beweisen, daß ABC = IBD ist. Geschähe der Stoß auf die gekrümmte Fläche KBL, so müßte dasselbe wie vorhin geschehen, wenn CD die Berührungsebene an dem getroffenen Punkte B von KL vorstellt. — Sind M und m (Fig. 113) Massen, wovon eine die Richtung Mx, die andere die Richtung my hat, so daß sie im Anfange des Stoßes die in der Figur gezeichnete Lage gegen einander haben, und stellen MA und mB die Geschwindigkeiten der Massen vor dem Stoße vor; so ziehe man durch die Mittelpunkte der Massen M und m die gerade Linie CD, und zerlege MA in die auf CD senkrechte MG und in die mit ihr parallele MD, eben so mB in mC und mH. Die Kräfte mC und MD bewirken einen geraden Stoß, wozu mH und MG gar nichts beitragen. Erlangt M durch den Stoß die Geschwindigkeit ME, so setze man sie mit MG zusammen, indem man AG bis F verlängert, so daß GF = ME wird, und es ist MF die Richtung der Masse M nach dem Stoße. Auf gleiche Weise findet man die Richtung der Masse m.

267. Der excentrische Stoß bewirkt eine fortschreitende Bewegung, die so vor sich geht, als wäre der Stoß central, überdieß aber noch eine drehende um den Mittelpunkt der Masse des gestoßenen Körpers. Es ist dieß eine Folge einer allgemeinen Eigenschaft der Bewegung jedes Systemes materieller Punkte, die darin besteht, daß, wenn Kräfte auf gegebene Massen einwirken, der gemeinschaftliche Schwerpunkt (Mittelpunkt) derselben sich so bewegt, als ob in ihm alle Massen vereinigt wären, und die Kräfte ihren eigenthümlichen Richtungen parallel auf ihn unmittelbar einwirkten. Man nennt diesen Satz das Princip der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunktes.

Ueber den Stoß findet man mehr in *s'Gravesande elementa physicae. Leidae 1742. Tom I. p. 254 et s.* Die ersten Originalaufsätze enthalten: *Walisii tractatus de percussione. Oxon.* 1669. *Hugenii op. posth. Ludg Bat. 1703. p. 369. et s.*

Zweites Kapitel.

Hindernisse der Bewegung und ihre Wirkungen.

268. Die Erfahrung lehrt, daß die Bewegungen in der Natur nicht so vor sich gehen, wie es die bisher erörterten Gesetze verlangen, und es den bewegenden Kräften angemessen wäre. Der Grund hievon liegt darin, daß die Tendenz zur Bewegung hindernde Kräfte hervorruft. Die Körper sind nämlich niemals so glatt, daß wenn einer auf

dem andern sich befindet, sie von einander scharf gesondert bleiben, sondern es dringen die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern ein, und sie haften dann fest an einander. Soll nun eine Bewegung des einen über den andern eintreten, so müssen die Erhöhungen losgerissen oder verschoben werden, oder der Körper muß sich heben, um die Erhöhungen seiner Unterlage zu übersteigen. Dazu ist natürlich ein bedeutender Kraftaufwand erforderlich. Dieser ist es, der die Größe des Hindernisses, das hier durch das Wort Reibung bezeichnet wird, mißt. Jeder Körper befindet sich in der Regel in der Luft, im Wasser oder in irgend einer andern Flüssigkeit, die man sein Mittel nennt. Soll er in demselben bewegt werden, so muß er das Mittel erst beseitigen oder vor sich hinschieben, mithin dessen Widerstand überwältigen. Auch dazu gehört ein beträchtlicher Kraftaufwand. Endlich wird durch Biegsamkeit, Elasticität, Adhäsion der Körper u. dgl. noch manches andere Hinderniß begründet. So z. B. wird ein schwerer kugelförmiger Körper, in Folge seiner Elasticität, flach gedrückt, und verhält sich beim Fortrollen einem Polyeder ähnlich. Elastische, biegsame oder weiche Unterlagen erhalten dieser ihrer Beschaffenheit gemäß Vertiefungen, welche dem Fortschieben der Körper auf ihnen im Wege stehen; Stricke widerstehen, vermöge ihrer Steifheit, wenn sie gerade sind, der Biegung, wenn sie gebogen sind, der Annahme einer geraden Form. Die Haupthindernisse sind aber die Reibung und der Widerstand des Mittels, und von diesen soll nun ausführlicher die Rede seyn.

269. Die Reibung äußert sich entweder an der Stelle des Körpers, auf welche die bewegende Kraft unmittelbar einwirkt, und sie vermindert deßhalb diese Kraft um einen Theil, welcher dem Widerstande an Größe gleichkommt, oder es zeigt sich die Reibung an einem Orte, der nicht in der Richtung der Kraft liegt, so daß die Reibung als eine Last auftritt, welche die Kraft mittelst einer Maschine, z. B. mittelst eines Hebelarmes, zu bekämpfen hat, wobei der Verlust an Kraft geringer seyn kann als die Größe der Reibung selbst. Man nennt die Reibung im ersten Falle die absolute, im zweiten die relative, und sieht stets die Größe der Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, als ihr Maß an.

270. Ueber die Reibung hat vorzüglich Coulomb genaue und lehrreiche Versuche angestellt. Er bediente sich dazu einer Vorrichtung, die schon früher von Muſſchenbroek, wiewohl unvollkommener, zu gleichem Zwecke angewendet wurde, und Reibungsmesser (Tribometer) heißt. Sie besteht (Fig. 114) aus einem sehr festen, horizontalen Tisch A, auf dem der Länge nach zwei Holzstücke a befestiget sind, die über denselben beiderseits hinausragen, und auf einer Seite eine Rolle b, auf der anderen einen Haspel c haben. Ueber diese Holzstücke wird eine möglichst geglättete Bohle B so gelegt, daß ihre Oberfläche genau horizontal ist. Hierauf kommt eine Schleife C zu liegen, die an jeder der zwei einander gegenüberstehenden Seiten Haken hat, wovon der eine dazu dient, um die Schnur zu befestigen,

welche über die Rolle geht, und eine Wagschale zur Aufnahme derjenigen Gewichte trägt, die nöthig sind, um die Schleife über die Bohle hingleiten zu machen, der andere, um mittelst einer zweiten Schnur und des vorhin erwähnten Haspels die Schleife wieder zurückführen zu können. Um Reibungsversuche unter möglichst abgeänderten Umständen machen zu können, wählte Coulomb Bohlen von verschiedenem Materiale, besonders von Holz und Metall als Unterlage, und eben so mannigfaltige Schleifen, ließ bald beide aus demselben, bald jedes aus einem anderen Stoffe bestehen, änderte das Gewicht der Schleife und die Menge der Berührungspunkte mit der Unterlage verschieden ab, ließ sie bald ungeschmiert, bald mit Schmiere versehen über einander gleiten, untersuchte die Reibung einmal gleich, nachdem die Schleife auf die Bohle gelegt worden war, dann aber einige Zeit später, nachdem sie in Berührung gekommen waren, sowohl wenn sie von Ruhe in Bewegung übergingen, als während der Bewegung selbst, er ließ die Bewegung bald mit größerer, bald mit kleinerer Geschwindigkeit vor sich gehen, und bestimmte bei jedem dieser Versuche den Reibungsexponenten, d. i. das Verhältniß des Druckes zu der Kraft, mit welcher sich der Körper zu bewegen anfing. Coulomb dehnte seine Versuche auch auf die Reibung in Pfannen aus, indem er eine Rolle mit wohl abgerundeten Zapfen in Pfannen von verschiedenem Materiale drehen ließ, und die Größe der Reibung bestimmte.

Viele von Coulomb's Vorgängern in der Untersuchung derselben Sache, z. B. Amontons, Bilfinger, bedienten sich dazu einer schiefen Ebene mit veränderlichem Erhöhungswinkel. Sie legten den Körper, dessen Reibung untersucht werden sollte, auf diese Ebene, und vergrößerten den Neigungswinkel so lange, bis der Körper anfing, sich abwärts zu bewegen. Heißt man diesen Winkel a, den Reibungsexponenten m, das Gewicht des Körpers P; so ist die Größe des Druckes, den der Körper auf die schiefe Ebene ausübt, $P \cos a$, mithin die Größe der Reibung $m P \cos a$, die Kraft, mit welcher er längs der schiefen Ebene hinabgetrieben wird, $P \sin a$. Da nun in dem Augenblicke, wo die Bewegung beginnt, die Reibung nahe der Kraft gleich ist, mit welcher der Körper hinabzugleiten sucht; so hat man

$$P \sin a = m P \cos a, \text{ das ist: } m = \tang a.$$

271. Die Resultate dieser Versuche sind folgende: 1) Die Größe der Reibung ist, bei übrigens gleichen Umständen, dem Drucke proportionirt, der Körper mag ruhen, oder sich mit was immer für einer Geschwindigkeit bewegen; nur bei faserigen Körpern nimmt die Reibung ab, wenn der Druck wächst. 2) Sie wächst mit der Zeit der Berührung, doch so, daß sie nach einer gewissen Zeit den größten Werth erlangt. Dieses geschieht bei Metall auf Metall fast augenblicklich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall erst nach Tagen. 3) Sie ist desto größer, je rauher die sich berührenden Flächen sind; doch kann sie auch eine zu strenge Politur vermehren. Bei mäßiger Glätte ist der Reibungsexponent $1/3$. 4) Bei harten Körpern ist die Reibung von der Größe der Berührungsfläche

unabhängig, bei weichen und faserigen wächst sie mit der Berührungsfläche. 5) Beim Uebergange aus der Ruhe in Bewegung beträgt die Reibung mehr als während der Bewegung. 6) Die Geschwindigkeit hat, wenn sie nicht sehr groß ist, keinen bedeutenden Einfluß auf die Reibung, so lange sich Holzarten oder Metalle ohne Schmiere auf einander reiben; bei Körpern verschiedener Art, z. B. bei Holz auf Metall, wächst die Reibung beinahe in einer geometrischen Progression, wenn die Geschwindigkeiten in einer arithmetischen zunehmen. 7) Gleichartige Körper reiben sich gewöhnlich stärker als ungleichartige, aber auch unter ungleichartigen findet ein bedeutender Unterschied Statt. So reibt sich z. B. Stahl am wenigsten auf Zink, mehr auf Messing, noch mehr auf Blei oder Kupfer, am meisten auf Zinn. 8) Cylindrische und runde Körper reiben sich weniger als ebene, und würden es noch weniger thun, wenn sie nicht platt gedrückt würden. 9) Holz reibt sich auf Holz minder, wenn sich die Fasern durchkreuzen, als wenn sie parallel laufen. 10) Feuchtigkeit vermehrt die Reibung der Hölzer, Hitze die der Metalle. 11) Schmiermittel vermindern die Reibung, wenn sie zweckmäßig angewendet und oft genug erneuert werden. Für verschiedene Körper thun auch verschiedene Schmiermittel die besten Dienste.

272. Aus diesen Gesetzen ergeben sich auch die Mittel, welche uns zu Gebote stehen, um die Reibung zu vermindern. Diese sind: Glätten der Oberflächen, Verminderung des Gewichtes des bewegten Körpers, so viel es andere Rücksichten zulassen, Vermeidung der Gleichartigkeit der Körper, die sich reiben, Umänderung der gleitenden Bewegung in eine rollende und zweckmäßige Anwendung der Schmiermittel. Hierauf beruhen alle Vorrichtungen, die zur Verminderung der Reibung angewendet werden, z. B. der Gebrauch der Walzen, der Reibungsrollen, der Garnet'schen Räder u. dgl. m.

Die Reibung, von einer Seite ein natürliches Uebel, ist von der anderen zu verschiedenen Zwecken nützlich. Mittelst der Reibung stehen Körper selbst auf einer schiefen Ebene fest, es lassen sich Körper zusammennageln, zusammenschrauben, schnelle Bewegungen vermindern, wie dieses z. B. beim gewöhnlichen Anheften der Schiffe ohne Anker, beim Hinablassen schwerer Fässer in Keller geschieht. Ueber die Reibung siehe: *Architectura hydraulica* von Prony (aus dem Franz. von Langsdorf). Frankf. a. M. 1795. I. Bd. S. 504 u. f. Metternich über die Reibung. Frankf. a. M. 1789. Bevan in den Jahrb. des k. k. polyt. Institutes. Bd. 17.

273. Die Größe des Widerstandes, den die gewöhnlichen Mittel, die Luft, das Wasser rc. gegen darin sich bewegende Körper ausüben, hat man theils durch Versuche, theils durch Rechnung auszumitteln gesucht. Mit letzterer haben sich die größten Mathematiker beschäftiget, ohne jedoch bisher den Gegenstand völlig erledigt zu haben. Offenbar hängt dieser Widerstand von der Größe, Gestalt und Geschwindigkeit des bewegten Körpers und von der Dichte und dem Grade der Flüssigkeit des Mittels ab; allein die Formeln, durch welche man das Gesetz dieser Abhängigkeit ausgedrückt hat, stimmen mit der Er-

fahrung nicht genügend überein. So setzt man gewöhnlich, bei übrigens gleichen Umständen, den Widerstand des Mittels dem Quadrate der Geschwindigkeit des bewegten Körpers proportional. Die Erfahrung harmonirt mit diesem Gesetze nur bei mittleren Geschwindigkeiten, bei größeren und bei sehr kleinen weicht sie sehr davon ab, und zwar im ersteren Falle besonders deßhalb, weil die verdrängte Flüssigkeit auch nur mit einer gewissen Geschwindigkeit den vom bewegten Körper verlassenen Platz wieder einnimmt, und daher hinter einer sehr schnell bewegten Masse gleichsam ein leerer Raum entsteht. Dieses ist bei der Bewegung in der Luft der Fall, sobald die Geschwindigkeit des bewegten Körpers etwa 800 Fuß übersteigt.

In dem Widerstande des Mittels liegt der Grund, warum man Schiffe vorne nach der Richtung des Kieles enger werden läßt, warum ein Schnellsegler ganz anders eingerichtet seyn muß, als ein Schiff, das viel zu fassen bestimmt ist, warum ein Schiff nach der Länge so leicht, nach der Breite so schwer beweglich ist. Einem Vogel kommt sein äußerer Bau beim Fliegen, einem Fische eben derselbe beim Schwimmen sehr zu Statten; ein schnell vorwärts schreitender Mensch sucht sich, besonders wenn er gegen den Wind geht, durch Vorwärtsneigen des Kopfes dieses Vortheiles einigermaßen theilhaftig zu machen. Von Nutzen ist dieser Widerstand beim Fliegen, Schwimmen, beim Gebrauche eines Fallschirmes. Eine vortreffliche Sammlung von Untersuchungen über diesen Artikel findet man in: *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano*, 1817. *p.* 221 *e. s. Euleri scientia navalis. Petr.* 1794. *Tom. I. p.* 201 *e. s.*

274. Die hier erwähnten widerstehenden Kräfte sind, wie bereits oben erwähnt wurde, Ursache, daß die Bewegungen der Körper in der Natur oft so bedeutend von den Gesetzen abweichen, die früher aufgestellt wurden. Wenn in einer Maschine zwischen Kraft und Last Gleichgewicht herrscht, so soll, der reinen Theorie nach, jeder Zusatz zur Kraft schon eine Bewegung zur Folge haben. Dieses ist aber nicht der Fall, und die Ursache dieser Erscheinung ist die Wirkung der widerstehenden Kräfte. Erst wenn die Kraft um so viel vermehrt worden ist, daß nach Abzug jenes Theils, der verwendet wird, um der Last und den Hindernissen das Gleichgewicht zu halten, noch etwas übrig bleibt, erfolgt eine Bewegung. Wiewohl diese Kraft, welche man Ueberwucht zu nennen pflegt, beständig wirkt; so bekommt doch die Maschine keine gleichförmig beschleunigte Bewegung, sondern nimmt bald nach Beginn der Bewegung einen gleichförmigen Gang an. Die Ursache liegt meistens darin, daß mit zunehmender Geschwindigkeit auch die widerstehenden Kräfte wachsen.

275. Wenn eine Kraft momentan auf einen Körper wirkt, so bewegt dieser sich auch nicht gleichförmig und beständig fort, wie es seyn müßte, wenn diese Bewegung ungehindert vor sich gehen könnte, sondern er kommt nach einiger Zeit in Ruhe, nachdem seine Geschwindigkeit stufenweise abgenommen hat.

276. Der freie Fall schwerer Körper ist auch in den in der Natur vorkommenden Fällen nicht gleichförmig beschleunigt, sondern nä-

hert sich, in einem Mittel von gleicher Dichte, der gleichförmigen Bewegung immer mehr, ohne sie doch je zu erreichen. In Mitteln von zunehmender Dichte, z. B. in der Luft, kann die Bewegung gleichförmig, ja wohl gar verzögert werden, wie wir dieses an fallenden Papierschnitzchen oder Federn sehen können. Dem Widerstande der Luft muß es auch zugeschrieben werden, daß nicht alle Körper von derselben Höhe gleich schnell zur Erde fallen; der dichtere kann den Widerstand leichter überwinden als der minder dichte, weil er unter demselben Volum, mithin bei demselben Widerstande des Mittels, mehr bewegende Kraft hat. Indeß wird selbst der dichteste Körper, wenn man ihn sehr fein zertheilt hat, nicht mehr den Widerstand überwältigen können, weil die Oberfläche eines Körpers, von welcher der Widerstand mitunter abhängt, in einem geringeren Verhältnisse abnimmt, als die Masse, durch welche er überwältiget werden soll. Hierauf beruht das Schlemmen. Die Bewegung eines schweren Körpers über eine schiefe Ebene muß offenbar noch mehr von der gleichförmig beschleunigten abweichen, weil zum Widerstande des Mittels auch noch die Reibung kommt. Ein Pendel, das ohne widerstehende Kräfte ein wahres mobile perpetuum abgeben könnte, verliert diesen Vorzug bloß durch die Einwirkung solcher Kräfte. Es wird nämlich durch den Widerstand der Luft und durch die Reibung an der Axe dahin gebracht, daß es, wenn es auch von C (Fig. 97) herabgefallen, nicht wieder bis H steigt, und noch weniger wieder bis C zurückkommt. Es beschreibt vielmehr immer kleinere Bögen, bis es endlich ganz in Ruhe kommt. Man kann aber doch bei zweckmäßiger Einrichtung die Bewegung mehrere Stunden anhaltend machen.

277. Daß die Elemente der Bahn eines geworfenen Körpers anders ausfallen, als die Theorie angibt, bestätiget die Erfahrung nur gar zu sehr. Es ist aber hier schwierig alle Hindernisse, z. B. die Reibung einer losgeschossenen Kugel an den Wänden des Rohres und den Widerstand der Luft, gehörig in Rechnung zu bringen; doch kann man leicht einsehen, daß der absteigende Arm der Wurflinie merklich stärker gekrümmt seyn müsse als der aufsteigende, daß die Wurfhöhe und Wurfweite hinter der berechneten zurückbleiben werde, und daß nur bei hinlänglich dichten Massen eine mäßige Annäherung der Erfahrung an die Theorie zu erwarten sey. Auch die größte Wurfweite findet nicht bei einem Elevationswinkel von 45° Statt, sondern bei einem viel kleineren.

Drittes Kapitel.

Bewegungsgesetze tropfbar flüssiger Körper. (Hydrodynamik.)

A. Fortschreitende Bewegung.

278. Daß tropfbare Flüssigkeiten den bewegenden Kräften folgen, und daß, wenn einmal eine Bewegung bestimmter Art hervorgebracht

ist, diese nach den allgemeinen Bewegungsgesetzen geschehen müsse, ist für sich klar, und in sofern wäre über die Bewegung solcher Flüssigkeiten nichts weiter zu sagen. Allein die Verschiebbarkeit der Theile und die dadurch begründete Fortpflanzung eines einseitigen Druckes nach allen Richtungen macht, daß bei Flüssigkeiten Bewegungen geschehen, wo bei festen Körpern Gleichgewicht wäre, und daß überhaupt Bewegungen im Innern der Flüssigkeit entstehen, die von der Bewegung der ganzen Masse verschieden sind. Diese inneren Bewegungen erschweren die Theorie der Bewegung tropfbarer Körper ungemein, und ließen sie bis jetzt nicht zu jener Vollkommenheit gelangen, welcher sich die Theorie der Bewegung fester Körper erfreut. Daher kann auch hier nur das Allgemeinste entwickelt werden, um so mehr, da die weitere Ausführung auf ziemlich verwickelte Rechnungen führt.

279. Versuche über die Bewegung flüssiger Körper stellt man am besten mit gläsernen, wo möglich durchaus gleich weiten Gefäßen an, deren Wände vertical, deren Boden horizontal steht. Man muß sowohl am Boden als an den Seiten in jeder Höhe Oeffnungen von beliebiger Größe anbringen, sie wieder verschließen, wohl auch Röhren von verschiedener Gestalt und Länge daran setzen können.

280. Es sey ACDB (Fig. 115) ein solches Gefäß, mit Wasser bis CD gefüllt. Sobald EF oder GH geöffnet wird, muß Wasser herausfließen, und diesem wieder neues nachfolgen. Dadurch muß natürlich auch die Oberfläche sinken, und überhaupt eine Bewegung in der ganzen Masse entstehen. Wenn das vorhergehende Wasser so schnell ausweicht, als das darüberstehende folgen will, so erfolgt gar kein Druck der Wassermassen auf einander, und alles geht so, wie beim freien Falle vor sich; fließt aber das vorausgehende Wasser nicht so schnell, als das folgende fließen will, so drückt diese Masse auf jene, es entsteht ein Gegendruck und, weil die Theile auszuweichen suchen, auch ein Druck auf die Seitenwände. Daher werden die der Ausflußöffnung zunächst liegenden Theilchen durch ihre Schwere und durch den Druck der darüber stehenden Säule beschleuniget, und der Ausfluß erfolgt schneller, als im freien Falle. Jene Säule drückt aber nicht mit ihrem ganzen Gewichte, weil sie selbst im Sinken begriffen ist, sondern desto weniger, je mehr sich ihre Geschwindigkeit der von der Schwere allein bedingten nähert. Man nennt diesen Druck den hydrodynamischen, zum Unterschiede vom hydrostatischen, welchen ruhende Flüssigkeiten ausüben. Die Oberfläche des Wassers bleibt, wenn die Oeffnung EF gegen die Weite des Gefäßes sehr klein ist, selbst während des Sinkens immer horizontal, nur in der Nähe des Bodens fängt das Wasser an, eine trichterförmige Vertiefung (Strudel) zu bekommen. Diese rührt aber von einer Seitenbewegung der Theile der Flüssigkeit in der Nähe der Oeffnung her; denn wenn man kleine Stücke Bernstein ins Wasser gibt, so bemerkt man, daß sie anfangs in verticaler Richtung sinken, in der Nähe der Oeffnung aber in einer krummlinigen Bewegung gegen dieselbe einlenken und mit ein-

ander convergiren, die Oeffnung mag am Boden oder an der Seitenwand angebracht seyn.

281. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in einem prismatischen Gefäße an der Oberfläche CD sinkt, muß sich zu der, mit welcher es durch die Oeffnung EF fließt, verhalten, wie der Querschnitt EF zum Querschnitte CD; denn wenn das Wasser in einer Zeiteinheit von CD bis LM gekommen ist, so muß das Volum CLMD dem durch EF in derselben Zeit fließenden ENOF gleich seyn, d. i. $CL . CD = EF . EN$ oder $CL : EN = EF : CD$, wo CL und EN die Geschwindigkeiten bedeuten. Kennt man die Querschnitte EF und CD, so läßt sich aus der Geschwindigkeit in CD auf die in EF ein Schluß machen. Dieses gewährt bei Versuchen einen großen Vortheil, indem sich der Raum, welchen das Wasser in CD zurücklegt, leichter beobachten läßt als in EF. Man versieht deßhalb das 279 erwähnte Gefäß der Höhe nach mit einer Zollscale, beobachtet bei Versuchen das Sinken der Oberfläche CD, und berechnet hieraus die Geschwindigkeiten in EF.

282. Ist der Querschnitt des Wasserbehälters so groß gegen jenen der Ausflußöffnung, daß man das Wasser im Gefäße während des Ausflusses als ruhig ansehen kann; so wird das Elementarvolum EGHF (Fig. 116) der Flüssigkeit durch den hydrostatischen Druck der Säule EIKF beschleuniget. Ist g die von der Schwere herrührende Beschleunigung und ω die durch den Druck der Säule EIKF erzeugte; so hat man

$$\omega : g = EIKF : EGHF = EI : EG \text{ oder } \omega = g . \frac{EI}{EG}.$$

Man findet nun die Ausflußgeschwindigkeit c nach der Formel (5) in 232. Dieser gemäß wird $c = \sqrt{2\omega . EG} = \sqrt{2g . EI}$, oder wenn man die Druckhöhe $EI = a$ setzt, $c = \sqrt{2ga}$. Es ist demnach die anfängliche Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers schon so groß, als wäre es vom Wasserspiegel bis zur Ausflußöffnung herabgefallen. — Ist es wegen verhältnißmäßig zu großer Ausflußöffnung nicht gestattet, das Wasser im Behälter als ruhig anzusehen, so sey die Ausflußgeschwindigkeit $= \gamma$, der Querschnitt des Behälters $= B$, jener der Ausflußöffnung $= b$. Die Geschwindigkeit des Wassers im Behälter ist nun (281) $= \frac{b}{B}\gamma$. Erlaubt man sich annäherungsweise $\gamma = c - \frac{b}{B}\gamma$ zu setzen, so hat man

$$\gamma = \frac{Bc}{B+b} = \frac{B}{B+b}\sqrt{2ga}.$$

283. Die ausfließende Wassersäule hat nicht einerlei Querschnitt mit der Ausflußöffnung, sondern sie zieht sich gleich beim Austritte aus dem Behälter zusammen, und erreicht in einiger Entfernung davon den kleinsten Durchschnitt. Dieses rührt ohne Zweifel davon her, daß nicht bloß das verticale ober der Oeffnung stehende Wasser aus-

fließt, sondern daß sich auch das seitwärts befindliche zum Ausflusse hindrängt, und daher in schiefer Richtung herabsteigt. Die Größe der Zusammenziehung des ausfließenden Strahles hängt zum Theile von der Größe der Ausflußöffnung und der Druckhöhe, hauptsächlich aber von der des Bodens ab.

Bei einem dünnen Boden beträgt der Querschnitt des zusammengezogenen Strahles $\frac{5}{8}$tel von jenem der Oeffnung, bei einem dicken Boden $\frac{13}{16}$tel, oder endlich gar $\frac{30}{31}$stel, wenn an der Oeffnung eine kurze nach außen sich erweiternde Röhre angesetzt ist. Nach Schitko ist der Contractions-Coefficient $= \sqrt{\left(0.38 + 0.62 \frac{b}{B}\right)}$.

284. Das in einer Zeiteinheit ausfließende Wasservolum V wird erhalten, wenn man in der Formel für die Ausflußgeschwindigkeit γ an die Stelle von b den kleinsten Querschnitt des Wasserstrahles setzt. Dieser ist $= \mu b$, wenn μ den Contractions-Coefficienten vorstellt. Man hat dem gemäß

$$V = \frac{\mu B b}{B + \mu b} \sqrt{2 g a}.$$

Dieses Wasservolum fließt wiederholt in jeder Zeiteinheit aus, sobald der Behälter durch einen Nachfluß beständig voll erhalten wird, und die ausfließende Wassermenge wächst demnach mit der Dauer des Ausflusses im geraden Verhältnisse. Hat der Behälter keinen Nachfluß, so nimmt die Ausflußgeschwindigkeit fortwährend ab, so wie die Quadratwurzel der Druckhöhe abnimmt, und es fließt in einer bestimmten Zeit nur halb so viel Wasser ab, als wenn der Behälter immer gleich voll geblieben wäre.

Ist die ganze Seitenwand ABCD (Fig. 118) eines Gefäßes offen, und wird dasselbe durch einen Nachfluß beständig gleich voll erhalten, so findet man die Ausflußmenge des Wassers auf folgende Weise: Man denke sich von jedem Punkte der AC eine horizontale Linie, welche die Geschwindigkeit des Wassers in dem dazu gehörigen horizontalen Schnitte der Oeffnung ausdrückt, und verbinde die Endpunkte dieser Linien. Auf gleiche Weise wird man mit jeder Linie verfahren können, die einem horizontalen Schnitte der Oeffnung entspricht, und man wird eine krumme Fläche AGKB erhalten, in welcher alle Endpunkte der Linien liegen, welche die Geschwindigkeiten ausdrücken. Die Krümmung dieser Fläche wird parabolisch seyn. Denn ist CG die Geschwindigkeit des Wassers in der Horizontalen CD, EH die in EF; so hat man: $CG = \sqrt{2g . AC}$, $EH = \sqrt{2g . AE}$, mithin $CG : EH = \sqrt{AC} : \sqrt{AE}$. Dieses deutet an, daß AHG eine Parabel sey, und da dieses für jeden Punkt in CD und EF gilt, so muß auch AGKB die genannte Krümmung haben. — Hiernach ist man im Stande, den Wasserkörper ACGKB zu berechnen, der in einer Zeiteinheit durch ABCD fließt; denn es ist $ACG = \frac{2}{3} AC . CG$, daher $ACGKB = \frac{2}{3} AC . CG . CD = \frac{2}{3} AC . CD \sqrt{2g . AC}$.

285. Ist die Ausflußöffnung EF (Fig. 117) an der Seitenwand des Gefäßes angebracht; so haben die in verschiedenen, horizontalen Schichten liegenden Wassertheile, schon wegen ihrer verschiedenen Entfernung von CD, eine verschiedene Geschwindigkeit. Ist die Oeffnung

gegen diese Entfernung klein, so kann man die Entfernung ihres Schwerpunktes G von der Oberfläche der Flüssigkeit CD für die mittlere Druckhöhe ansehen, und die Geschwindigkeit darnach berechnen, darf aber auch hier nicht den Einfluß der Zusammenziehung des Strahles übersehen. Die Bewegung des bereits außerhalb des Behälters befindlichen Wassers ist aber dann mit der eines schweren, nach einer horizontalen Richtung geworfenen Körpers einerlei; denn der Seitendruck treibt das Wasser horizontal fort, während es die Schwere vertical abwärts zieht. Deßhalb ist die Bahn eines solchen Strahles eine Parabel.

286. Wasser, das von einem Behälter durch Röhren abgeleitet wird, soll mit einer Geschwindigkeit ausfließen, welche dem Höhenunterschiede des Wasserspiegels im Behälter und der Ausflußöffnung entspricht. Aber da es nebst dem Widerstande, den es beim Austritte aus dem Behälter erfährt, noch einen anderen durch Reibung an den Röhrenwänden erleidet, welcher im verkehrten Verhältnisse des Durchmessers der Röhren und im geraden ihrer Länge steht, überdieß auch noch von der Geschwindigkeit des Wassers abhängt, und wie das Quadrat derselben wächst; so fällt diese Geschwindigkeit viel kleiner aus, besonders wenn die Röhrenleitung Krümmungen hat. Mehrere Gelehrte, wie z. B. Eytelwein, Prony, Navier und Girard, haben diese Geschwindigkeit durch Versuche und Rechnung auszumitteln gesucht. Unter diesen hat vorzüglich der letztere den Fall berücksichtiget, wo eine Flüssigkeit durch sehr enge Röhren geleitet wird, und gefunden, daß das Resultat verschieden ausfalle, je nachdem die Flüssigkeit die Röhrenwand benetzt oder nicht. Im letzteren Falle hört die Flüssigkeit auf, durch ein Röhrchen auszufließen, sobald der Druck bis zu einer gewissen Größe vermindert worden ist, die von der Weite und Länge der Röhre abhängt. Die Geschwindigkeit verschiedener Flüssigkeiten, welche die Röhrenwände benetzen, ist auch selbst bei einerlei Druck verschieden, und wird durch Temperaturerhöhung sehr bedeutend vergrößert. Bei einem Versuche floß Wasser von nahe 100° C. aus einer Glasröhre beinahe viermal schneller ab, als solches, dessen Temperatur nahe an 0° C. war.

287. Ist die Ausflußöffnung in einer aufwärts gebogenen Röhre angebracht, so soll das Wasser mit einer Geschwindigkeit hervorspringen, welche von der Höhe der drückenden Wassersäule abhängt, und bis zur Oberfläche des Wassers im Behälter emporspringen. Weil aber diese Geschwindigkeit theils durch die Adhäsion an die Ränder der Oeffnung, theils durch die Seitenbewegung der Wassertheile, sogar durch den Druck der wieder zurückfallenden Tropfen vermindert wird; so bleibt der hervorspringende Strahl stark unter dieser Höhe zurück. Je mehr man die genannten Hindernisse vermindert, um so höher wird der Strahl steigen, ohne doch je die durch Rechnung angegebene Höhe zu erreichen. Deßhalb ist die Sprunghöhe geringer, wenn die Ausflußöffnung an einer cylindrischen Röhre, als wenn sie an einer dünnen Platte angebracht ist, höher, wenn der Strahl etwas von der ver-

ticalen Richtung abweicht, als wenn er ganz vertical emporsteigt. Deßhalb gibt es auch für jede Wasserhöhe ein gewisses Maß der Oeffnung, wobei der Strahl die größte Höhe erreicht. Merkwürdig ist die Gestalt eines Wasserstrahles, der aus der kreisförmigen Oeffnung einer dünnen Wand emporschießt. Man unterscheidet da leicht zwei Theile, den äußeren, die Ränder der Oeffnung berührenden, und den inneren. Ersterer bildet einen Rotationskörper von ungleichen Querschnitten, ist ruhig und durchsichtig gleich einem Gasstabe, letzterer unruhig, undurchsichtig, und aus einer Anzahl durch gleiche Zwischenräume getrennter Anschwellungen bestehend, wovon die größte einen Querschnitt hat, der jenen der Ausflußöffnung übertrifft. (Pogg. Ann. 29. 353; 31. 124.)

288. Bisher wurde bei der Betrachtung der bewegenden Kraft des Wassers auf den Luftdruck keine Rücksicht genommen, und dieses kann auch geschehen, so lange man es mit Behältern zu thun hat, wo der Luftdruck auf den Wasserspiegel und die Ausflußöffnung gleich groß ist. Gestattet eine zu große Entfernung des Wasserspiegels vom Ausgusse dieses nicht, so nimmt die Druckhöhe um eine Säule von solcher Höhe ab, daß sie dem Uebergewichte des Luftdruckes auf die Ausflußöffnung das Gleichgewicht hält. Auf solche Weise vermindert der Luftdruck die Menge des in einer bestimmten Zeit ausfließenden Wassers. Es gibt aber auch Fälle, wo er diese Ausflußmenge vergrößert, wenn nämlich der Ausfluß durch eine nach außen sich erweiternde Röhre geschieht. Ist A (Fig. 119) der Wasserbehälter, a b c d die Ansatzröhre; so sucht der Wasserdruck in dem Querschnitte a b und c d dieselbe Geschwindigkeit zu erzeugen. Aber durch die größere Oeffnung c d fließt in einer Zeiteinheit mehr Wasser als durch a b, und es würde demnach zwischen a b und c d ein leerer Raum entstehen, wenn nicht der Luftdruck ein schnelleres Nachfließen durch a b bewirkte und so die Ausflußmenge vermehrte. Daß dieses so sey, erkennt man, wenn man an der Ausflußröhre einen abwärts gerichteten ins Wasser reichenden Ansatz e anbringt; denn da wird das Wasser in demselben aufgesaugt.

289. Wenn fließendes Wasser die ganze, der Druckhöhe entsprechende Geschwindigkeit hat, so übt es gar keinen Druck auf den Behälter aus; so wie aber seine Geschwindigkeit kleiner wird, als die Druckhöhe verlangt, entsteht ein Druck auf das Gefäß von innen nach außen; überschreitet die Geschwindigkeit die der Druckhöhe entsprechende Größe, so werden die Gefäßwände gar einwärts gedrückt. Man kann demnach bei einem Gefäße, welches fließendes Wasser enthält, durch Vermindern, Vermehren oder Aufheben der Geschwindigkeit des Ausflusses den Druck auf die Gefäßwände vermehren, vermindern oder gar der Richtung nach umkehren. Auf einer solchen Veränderung des Druckes beruht der sogenannte Stoßheber.

Der Stoßheber (Fig. 120) besteht aus einer hinreichend langen, horizontalen Röhre A, die an einem Ende mit einem höher gelegenen Wassergefäße B in Verbindung steht, am anderen Ende aber sich in einen Heronsball C mittelst einer Klappe a mündet, die sich vom In-

neren der Röhre nach außen öffnet. Nahe dabei und außerhalb des Heronsballs hat sie ein zweites, einwärts sich öffnendes Ventil b, das sich durch sein eigenes Gewicht öffnet. Sobald das Wasser vom Behälter in die Röhre tritt und sie anfüllt, stoßt es an die letztgenannte Klappe und schließt sie; dadurch verwandelt sich der hydraulische Druck in einen hydrostatischen, und das Wasser wird in den Stand gesetzt, die Klappe am Heronsball zu öffnen, hineinzudringen, und die Luft daselbst zu verdichten. Dabei geht es aber vermöge der Trägheit weiter, als das Gleichgewicht fordert; der Theil außer dem Heronsball geht daher wieder zurück, und wird dabei von den beiden zurückfallenden Klappen, besonders von der äußeren, unterstützt, kehrt, wie ein Pendel, wieder gegen die Klappen hin, es dringt wieder ein Theil in den Heronsball und fängt an in die Höhe zu springen u. s. f

290. Fließendes Wasser übt gegen einen darin festgehaltenen Körper einen Druck aus, dessen Größe sich bestimmen läßt. Erfolgt derselbe nach einer auf die gedrückte Fläche senkrechten Richtung, so wird er durch den Druck einer Wassersäule gemessen, deren Basis dieser Fläche gleich, und deren Höhe die der Geschwindigkeit des Wassers entsprechende Fallhöhe ist. Heißt demnach die Größe der gedrückten Fläche A, die Geschwindigkeit des Wassers c, die Acceleration der Schwere g; mithin die zu c gehörige Fallhöhe $\frac{c^2}{2g}$, so ist die Größe des Druckes $= \frac{Ac^2}{2g}$. Einen schiefen Druck kann man nach 266 behandeln. Ist die Fläche des Körpers viel größer als der gegen selbe sich bewegende Wasserstrahl, so fließt das Wasser schon in einiger Entfernung von dieser Fläche auf einer krummen Bahn ab, und der senkrechte Druck ist nahe doppelt so groß, als nach der vorhergehenden Rechnung. Auf diesen Gesetzen beruht die Theorie der unterschlächtigen Wasserräder, die Form der Brückenpfeiler rc. — Mehr hierüber in hydraulischen Werken: Lehrbuch der Hydraulik von Langsdorf. Altona, 1795. Eytelwein's Lehrbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin, 1824. *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano*, 1818. Gerstner's Handbuch der Mechanik. Prag, 1832. 2ter Band.

B. Wellenbewegung.

291. Wellen zeigen sich in tropfbaren Flüssigkeiten als Erhöhungen und Vertiefungen, wovon jene über, diese unter der Horizontalebene der ruhenden Oberfläche liegen. Erstere heißen Wellenberge, letztere Wellenthäler. Ist AC (Fig. 121) eine horizontale Linie, ADB ein Durchschnitt eines Wellenberges, BEC der eines Wellenthales, und schreitet die Welle längs AC fort, so heißt AD der Hintertheil, DB der Vordertheil des Wellenberges, BE der Hintertheil, EC der Vordertheil des Wellenthals, C der Anfangspunkt, A der Endpunkt der Welle. Die Entfernung des höchsten Punktes des Wellenberges von der Horizontalen ist die Höhe des Wellenberges, die Entfernung des tiefsten Punktes des Wellenthales von derselben Horizontalen die

Tiefe des Wellenthals, die Summe DF + GE aus der Höhe eines Wellenberges und der Tiefe des dazu gehörigen Wellenthals die Höhe der ganzen Welle. AB heißt die Breite des Wellenberges, BC die des Wellenthals, AC die Breite der ganzen Welle. Jeder Wellenberg hat nach oben eine convexe, jedes Wellenthal eine concave Krümmung, beide gehen zwar stetig in einander über, es ist aber die Krümmung eines Wellenberges mit der des dazu gehörigen Wellenthals keineswegs congruent, ja nicht einmal der Vordertheil eines Wellenberges ist mit seinem Hintertheile gleich gestaltet, wie man am besten sieht, wenn man in einem mit Quecksilber gefüllten Gefäße eine Welle erregt, und parallel mit der Richtung ihres Fortschreitens eine mit Mehl bestaubte Schiefertafel hineinsetzt, damit die Welle den Staub wegnehme und sich selbst gleichsam abbilde. Die Wellen erstrecken sich in sehr bedeutende Tiefen, wie man vorzüglich aus dem Trüben des Wassers über einem schlammigen Grunde ersieht, wenn dasselbe Wellen schlägt.

292. Wellen entstehen, wenn das Gleichgewicht einer Flüssigkeit theilweise oder ungleichförmig aufgehoben wird. So z. B. erregt ein Wind, der längs des Wassers hinstreicht, durch bloße Reibung kleine Wellen, größere, wenn seine Richtung schief ist. Auf gleiche Weise werden Wellen erregt, wenn man einen schweren Körper in eine tropfbare Flüssigkeit fallen läßt, oder mittelst einer Röhre durch Saugen einen Theil derselben plötzlich herauszieht, wohl auch, indem man eine Flüssigkeit durch Stoßen erschüttert. Unter diesen Erregungsmitteln sind die letzteren zur Untersuchung der Gesetze der Wellenbewegung die geeignetsten, weil die dadurch entstandenen Wellen sich selbst überlassen bleiben und nicht durch den Einfluß fremder Kräfte gestört werden.

293. Läßt man ein kleines Steinchen in ruhiges Wasser fallen, so bildet sich gleich nach dem Eindringen desselben an der getroffenen Stelle eine kleine Vertiefung und rings um dieselbe ein kreisförmiger, erhöhter Wall. Dieser theilt sich bald darauf in zwei Theile, wovon einer nach außen fortgeht und eine kreisförmige, sich beständig erweiternde Welle bildet, deren Mittelpunkt der getroffene Punkt ist, während der andere nach innen fortschreitet, und die im Mittelpunkte der Welle befindliche Flüssigkeit in die Höhe treibt. Der so aufwärts getriebene Theil sinkt wieder zurück, und spielt dabei dieselbe Rolle, wie das zuerst hineingeworfene Steinchen, und so kommt es, daß bei hinreichend tiefem Wasser und einer bedeutenden Fallhöhe des hineingeworfenen Körpers, ein zwei- oder dreimaliges Aufsteigen des Wassers an der vorhin genannten Stelle Statt findet, deren jedes wieder seine eigene, aber immer schwächere Welle erregt. Ist das Wasser um den Mittelpunkt der Welle ruhig geworden, so bemerkt man, daß die letzte, mithin kleinste Welle, während ihres Fortschreitens auch noch wie obiger Wall neue Wellen erregt; denn man sieht an der Stelle, welche sie verlassen hat, immer wieder eine kleinere Welle entstehen, die aber nur nach außen fortschreitet. Durch diese Rückwirkung der Wellen

muß offenbar jede durch die ihr zunächst vorausgehende verstärkt werden. Bei genauerer Aufmerksamkeit zeigt die Erfahrung selbst vor der zuerst entstandenen, unmittelbar durch den Stoß erzeugten Welle mehrere concentrische, größere und schwächere Wellen, bei denen es den Anschein hat, als wären sie durch ein stoßweise immer stärker werdendes Ausweichen des Wassers beim Hineinfallen des Steines erregt worden. Aus dem Gesagten sieht man, daß ein momentaner Stoß mehrere Wellen erregt.

294. Die so erzeugten Wellen erweitern sich beständig und bleiben dabei kreisförmig, wenn ihnen kein Hinderniß in den Weg kommt; ja selbst solche Wellen, die beim Entstehen eine von der Kreisform abweichende Gestalt haben, nähern sich dieser beim Erweitern immer mehr. Trifft eine Welle beim Fortschreiten auf einen in der Flüssigkeit schwimmenden Körper; so hebt und senkt sie ihn um ihre eigene Höhe, ertheilt ihm aber keine fortschreitende Bewegung. Bei Wellen, die im fließenden Wasser erregt werden, fließt der Mittelpunkt mit der dem Wasser eigenen Geschwindigkeit fort, ohne Störung der Wellenbewegung, wie man leicht sieht, wenn man ein Stück Holz in solches Wasser wirft; denn dieses bleibt stets im Centrum der erregten Welle und wird dabei stromabwärts getragen. Läßt man in einem schmalen, langen, viereckigen Gefäße Wellen entstehen, so können sie nur die Gestalt eines Kreisbogens von bestimmter Länge annehmen; die durch Rütteln eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes entstandenen Wellen verengen sich immer mehr und laufen in der Mitte desselben zusammen. Unter allen diesen Umständen schreitet jeder Punkt einer Welle nach der Richtung der zu ihm gehörigen normalen Linie fort. Bei kreisförmigen Wellen fällt diese Richtung für jeden Punkt mit dem Radius des Kreises zusammen, der von diesem Punkte aus gezogen ist. Beim Fortschreiten ist der Vordertheil des Wellenberges und der Hintertheil des Wellenthals im Steigen, und der Hintertheil des Wellenberges und der Vordertheil des Wellenthals im Sinken begriffen. Im Steigen des Vordertheils des Wellenberges liegt die bewegende Kraft, wodurch das weitere Fortschreiten bewirkt wird.

295. Die Geschwindigkeit der Wellen wächst, nach dem Zeugnisse der Erfahrung, mit ihrer Breite und Höhe, mithin auch mit der Größe und Geschwindigkeit der sie durch Stoß erzeugenden Masse, weil diese die Breite und Höhe derselben bestimmt. Eine Aenderung im specifischen Gewichte der Flüssigkeit übt auf die Geschwindigkeit der Wellen keinen merklichen Einfluß aus, Verminderung der Tiefe der Flüssigkeit vermindert die Geschwindigkeit der Wellen, jedoch bei verschiedenen Flüssigkeiten und einerlei Abnahme der Tiefe nicht in demselben Verhältnisse. Hieraus erklärt es sich, warum Wellen, die sich stets mehr erweitern und dabei an Höhe abnehmen, auch immer langsamer werden; warum bei Wellen, die sich stets verengen, das Gegentheil Statt findet; warum solche, bei denen weder das eine noch das andere der Fall ist, und die immer an Höhe ab-, an Breite zunehmen, stets mit derselben Geschwindigkeit fortgehen. Letztere sind

daher besonders geeignet zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Wellenbewegung, und auch von den Brüdern Weber, denen wir die meiste Aufklärung hierüber schuldig sind, benützt werden.

296. Die genaueste Kenntniß der Wellenbewegung erwirbt man sich, wenn man sich über die Bewegung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen, mit denen sie verbunden ist, unterrichtet. Um diese Bewegung auf dem Erfahrungswege auszumitteln, bedienten sich die Brüder Weber eines rechtwinkeligen, schmalen, aber tiefen und langen Gefäßes mit gläsernen Seitenwänden, das sie Wellenrinne nannten, füllten es mit Flußwasser, das viele darin schwebende, feine, feste Theile enthielt, erregten darin Wellen, und beobachteten dann die Bahnen der schwimmenden Körperchen in der Voraussetzung, daß man dadurch die Bewegung der durch diese Körper verdrängten Flüssigkeit kennen lerne. Auf diese Weise fanden sie: 1) Daß sich die Wassertheilchen an der Stelle, wo die Oberfläche der Flüssigkeit die Gestalt einer Welle annimmt, in Bahnen bewegen, die in einer verticalen Ebene liegen, und entweder in sich zurückkehren oder nicht, je nachdem die zusammengehörigen Wellenberge und Wellenthäler gleich gestaltet sind oder nicht. Im ersten Falle sind die Bahnen elliptisch. Ist z. B. A (Fig. 122) ein solches Theilchen, Ax eine horizontale Linie, nach welcher die Wellen fortschreiten, so macht es im ersten Falle den Weg ACBDA, im zweiten den Weg A′C′B′D′. Während A den über Ax liegenden Theil der Bahn beschreibt, bildet es einen Theil des Wellenberges, während es den unterhalb derselben liegenden zurücklegt, einen Theil des Wellenthales. Es ist daher der verticale Durchmesser dieser Bahn der Höhe der Welle gleich. 2) Die in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung successiv; aber es stoßen nie zwei Theilchen, deren Bahnen sich schneiden, zusammen. In der Fortpflanzung dieser Bewegung von Theilchen zu Theilchen liegt der Grund der Wellenfortpflanzung. 3) Während ein Theilchen der Flüssigkeit eine Bahn einmal zurücklegt, schreitet die dadurch gebildete Welle um ihre ganze Breite vorwärts, es geht das Wellenthal oder der Wellenberg voraus, je nachdem die betreffenden Theilchen ihre Bewegung nach abwärts oder nach aufwärts beginnen. 4) Die Zeit, in welcher ein Theilchen seine ganze Bahn einmal zurücklegt, bestimmt das Verhältniß der Höhe der Welle zu ihrer Breite. 5) Die schwingende Bewegung der Theilchen erstreckt sich bis zu einer sehr großen Tiefe und die in einer verticalen Linie liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung zugleich, aber in Bahnen, deren horizontaler und verticaler Durchmesser desto kleiner ist, je tiefer ein Theichen liegt, auch übertrifft der horizontale Durchmesser den verticalen desto mehr, je weiter ein Theilchen von der Oberfläche entfernt ist. In sehr großen Tiefen haben diese Theilchen nur eine horizontale, hin- und hergehende Bewegung. 6) Die näher an der Oberfläche liegenden Theilchen durchlaufen ihre Bahnen nicht so geschwind, als die tiefer liegenden. 7) Jedes Theilchen, das durch eine momentan wirkende Kraft in eine schwingende Bewegung versetzt

wurde, wiederholt seine Umdrehung mehrmals, aber in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit, und so viele Umläufe es macht, so viele Wellen gehen an jenem Orte vorüber. Es ist also die schwingende Bewegung der Theilchen die eigentliche, wirkliche Bewegung beim Fortgange der Wellen, und die Welle ist nur die Gestalt, welche die Flüssigkeit an ihrer Oberfläche, vermög der Bewegung ihrer kleinsten Theile, annimmt. Demnach schreitet ein und derselbe Wellenberg über dem Niveau einer Flüssigkeit fort, ohne die Flüssigkeit mit sich fortzuführen, und die Wellenberge und Wellenthäler erhalten sich hinter einander in ihrer Form, ohne daß sie in einander übergehen.

Fig. 128 stellt mehrere kreisförmige Bahnen vor, welche die daselbst befindlichen Theile a b c d e f in der Richtung des beigesetzten Pfeiles beschreiben. Wir wollen uns jedes dieser Theilchen zu einer Zeit denken, wo das erste a bereits die ganze Bahn zurückgelegt hat, und sich wieder in a befindet, das letzte f aber gerade seine Bewegung beginnt. Da ist nun b nach b', c nach c', d nach d', e nach e' gekommen, und die Flüssigkeit hat die Gestalt der Curve a b'c'd'e'f annehmen müssen.

297. Von der Bewegung der Flüssigkeitstheilchen bei der Fortpflanzung einer Welle ist diejenige verschieden, welche den Theilchen bei der Entstehung einer Welle zukommt. Das, was durch Erfahrung hierüber bekannt ist, bezieht sich auf den Fall, wo man aus einer flüssigen Masse mittelst einer Röhre plötzlich eine Säule von bestimmter Länge herausgehoben und dadurch Wellen erzeugt hat. Es besteht in Folgendem: Es erstreckt sich die Verschiebung der Theilchen scheinbar gleichzeitig in große Tiefen, nimmt aber der Größe nach gegen unten schnell ab. Die Richtung der Theilchen ist nach Verhältniß ihrer Lage und Entfernung vom Entstehungsorte der Bewegung sehr verschieden. Die in einer verticalen Linie unter dieser Stelle liegenden Theilchen bewegen sich senkrecht aufwärts und dann ein wenig nach entgegengesetzter Richtung; die seitwärts und tiefer liegenden haben eine schiefe Bewegung gegen den Ursprung der Bewegung hin; bei den der Oberfläche näheren werden die Bahnen gar gekrümmt, und zwar desto mehr, je näher sie der Oberfläche liegen.

298. Wenn zwei Wellen einander begegnen und sich durchkreuzen, so entsteht aus zwei Wellenbergen ein einziger, dessen Höhe fast der Summe beider gleich ist. Dasselbe erfolgt mit zwei sich durchkreuzenden Wellenthälern. Hiervon überzeugt man sich, wenn man in der Wellenrinne (296) an den entgegengesetzten Enden zwei Wellen im Quecksilber erregt, und den bei ihrer Durchkreuzung entstandenen Wellenberg oder das Wellenthal mittelst einer bestaubten Schiefertafel sich (nach 291) abbilden läßt. Nach der Durchkreuzung trennen sich die beiden Wellenberge und Wellenthäler wieder von einander so, daß es den Anschein hat, als wären die Wellen ungestört durch einander gegangen. Trifft ein Wellenthal einer Welle mit einem eben so großen Wellenberge einer anderen Welle zusammen, so heben sich beide an der Durchkreuzungsstelle auf.

Eine recht artige Erscheinung bringt die Durchkreuzung der Wellen hervor, die man im Quecksilber an zwei einander nahen Stellen a und b mittelst hineinfallender Tropfen erregt, und welche sich an einigen Stellen beim Durchkreuzen aufheben, an anderen verstärken. Sowohl die Stellen, wo das eine, als die, wo das andere Statt findet, liegen in hyperbolisch gekrümmten Linien. Fig. 124 stellt diese Erscheinung vor. Man erkennt die Streifen, wo sich die Wellen beim Durchkreuzen aufheben oder verstärken, wenn man schief auf die Figur nach ihrer Länge hinsieht.

299. Betrachtet man während der Durchkreuzung der Wellen die Bewegung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen; so findet man, daß sich die elliptischen Bahnen, welche sie vor der Durchkreuzung beschreiben, in geradlinige verwandeln, daß die gerade unter dem höchsten Punkte eines durch Durchkreuzung entstandenen Wellenberges liegenden Theilchen eine verticale Richtung haben, zu deren beiden Seiten aber schief gegen diesen Punkt hin gerichtet seyen. Bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge geht die Bewegung aufwärts, bei jener zweier Wellenthäler abwärts; diese geradlinige Bahn ist immer größer als der verticale Durchmesser der vor der Durchkreuzung bestehenden, elliptischen Bahnen. Bei der Durchkreuzung scheint eine kleine Verzögerung in der Fortpflanzung einzutreten, nach der Durchkreuzung bewegen sich aber die Wellen mit derselben Geschwindigkeit fort, als hätten sie sich nicht durchkreuzet.

300. Wenn eine Welle eine feste Wand trifft, so wird sie **reflectirt**. Der einfachste Fall dieses Phänomens ist der, wo eine kreisförmige, allenthalben gleich hohe und gleich breite Welle eine Wand senkrecht trifft, d. i. so, das die auf dem zuerst anstoßenden Punkte errichtete Normale zugleich auf der Wand senkrecht steht. In diesem Falle entsteht durch Reflexion eine neue Welle, die sich von der directen dadurch unterscheidet, daß sie gegen die Wand concav ist und daher ihren Mittelpunkt jenseits derselben hat, wenn die auffallende gegen dieselbe convex war, mithin ihren Mittelpunkt diesseits der Wand hatte. Wenn eine kreisförmige Welle schief an eine Wand anstoßt; so kann man, falls sie nach der Reflexion ihre Kreisform beibehält, die Lage der reflectirten Welle nach dem Gesetze finden, daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich sey; verliert aber die Welle bei der Reflexion ihre Kreisform, so wird nach diesem Gesetze die Lage der reflectirten Welle nur beiläufig richtig bestimmt.

Man kann sich vom ganzen Hergange der Sache beim senkrechten Stoß einer Welle eine deutliche Vorstellung machen, wenn man sich die Welle a b c d e (Fig. 125, α) denkt, die an das Hinderniß A B senkrecht anstößt. Nach Verlauf eines Zeittheilchens nach dem Beginne des Stoßes, in welchem die Welle einen Weg $\frac{ac}{2} = \frac{ce}{2}$ zurückgelegt hat, ist c d an die Stelle von d e gekommen, und d e hat sich in einen von A B weggehenden Wellenberg verwandelt. Dadurch ist c d auf das Doppelte an Höhe gewachsen, hat aber um eben so viel an Breite abgenommen, wie β zeigt. Nach einer doppelt so langen Zeit ist c in e angelangt, so daß von der Welle nur a b c (γ) vorhanden wäre, wenn

keine Reflexion erfolgte; aber es hat sich zugleich der Wellenberg c d e (α) in einen von A B weggehenden c d a (γ) verwandelt; a b c und c d a heben einander auf, und es wird für einen Augenblick die Oberfläche der Flüssigkeit ganz eben. Nach Verlauf eines dreifachen Zeittheilchens von der vorhin angegebenen Dauer ist a b an die Stelle von b c gekommen, eben dahin fällt auch das zurückkehrende Stück b c so, daß dadurch das Wellenthal doppelt so tief und nur halb so breit wird; und das Ganze wie die Zeichnung in δ aussieht. Endlich nach Verlauf von 4 solchen Zeittheilchen bekommt die Welle die Lage a b c d e (ε), und die Richtung des beigesetzten Pfeiles. — Wenn man in ein cylindrisches Gefäß reines Quecksilber gibt, und durch einen feinen Trichter noch mehr davon nahe am Rande des Gefäßes zufließen läßt; so kann man deutlich sehen, wie sich in der Nähe des entgegengesetzten Randes, durch Zusammentreffen reflectirter Wellen, gleichsam ein zweiter Wellenmittelpunkt bildet.

301. Bei der Reflexion einer Welle erleiden die Bahnen der Flüssigkeitstheilchen dieselbe Aenderung, wie bei der einfachen Durchkreuzung (299), es wird nämlich, wie dort, ihre verticale Bewegung auf Kosten der horizontalen verstärkt, so daß die elliptischen Bahnen in gerade, verticale oder geneigte verwandelt werden.

302. Wenn eine Welle an eine Wand mit einer Oeffnung anstoßt, so erleidet sie eine eigene Modification, welche **Beugung** genannt wird. Ist A B (Fig. 126) eine Oeffnung in einem Brete, a der Mittelpunkt einer kreisförmigen Welle; so wird der Theil, welcher die Wand und nicht die Oeffnung trifft, sich erweitern, als wäre die Welle gar nicht unterbrochen; dasselbe thut auch der Theil AB, welcher durch die Oeffnung geht, nur mit der Modification, daß die Enden dieser Wellenbögen nicht mehr in der Richtung fortschreiten, die ihnen bei der freien Bewegung zukäme, sondern sich gegen die Wände zu Kreisbögen b c und d e **umbeugen**, deren Mittelpunkte in A und B liegen. Diese Bögen unterhalten stets die Verbindung zwischen dem Theile der Welle vor und hinter der Oeffnung.

Die durch Beugung entstandenen, kreisförmigen Wellen b c und d e kreuzen sich bei ihrer Erweiterung und verstärken sich an einigen Stellen, schwächen sich an anderen oder heben sich gar auf. Die auf einerlei Art entstandenen Wellen liegen in einer Hyperbel, und man kann sowohl dieses, als den ganzen Verlauf der angeführten Beugungsphänomene deutlich sehen, wenn man ein etwa ½ Zoll dickes, mit einer Oeffnung versehenes Bret in Quecksilber taucht, und in dieses regelmäßige Quecksilbertropfen fallen läßt. Die Erscheinung hat völlige Aehnlichkeit mit Fig. 124.

303. In die Reihe der Beugungsphänomene gehören auch die **Wirbel**, welche sich bilden, wenn Wasser an ein Bret anstoßt, aber zu beiden Seiten desselben vorbeifließen kann. Diese Wirbel (Fig. 127) sind auf beiden Seiten gegen einander gerichtet, und können sich bei nicht zu großer Länge des Bretes in einander verschlingen.

304. Wenn man in einem regelmäßigen Gefäße in gewissen Zeitabschnitten gleich breite Wellen erregt, so können die directen Wellenthäler den reflectirten und eben so die directen Wellenberge den zurückgeworfenen mit fast gleicher Kraft begegnen, sich an symmetrisch an-

geordneten Stellen mehrfach durchkreuzen, und so gleichweit von einander abstehende Wellenthäler und Wellenberge bilden, die wegen der entgegengesetzten Richtung der sich begegnenden Wellen nicht mehr von einem Orte zum anderen fortrücken, sondern von denen sich immer nur ein Berg in ein Thal verwandelt und umgekehrt. Die Grenzen zwischen beiden fallen daher immer an dieselbe Stelle und heißen Schwingungsknoten. Diese Schwingung ist daher von der vorhin betrachteten wohl zu unterscheiden, und kann füglich stehende Schwingung genannt werden, während die vorige den Namen der fortschreitenden verdient. Die Breite einer stehenden Welle ist nur halb so groß als jene der fortschreitenden, aus der sie entstanden ist. Ein Beispiel einer solchen stehenden Schwingung kann man im Quecksilber sehen, das sich in einem regelmäßigen Gefäße befindet, in dessen Mitte man tactmäßig einen Körper senkrecht eintaucht und wieder herauszieht.

Um vom Entstehen der stehenden Schwingung eine deutliche Vorstellung zu bekommen, denke man sich A B (Fig. 128) als die Länge eines schmalen, mit Wasser gefüllten Kastens, und zugleich als den Durchschnitt der Oberfläche des ruhenden Wassers mit einer verticalen Ebene. Es werde in A eine Welle erregt, die gegen B fortschreitet und eine der Länge des Gefäßes gleiche Breite hat. So wie sie ganz gebildet ist und in B anlangt, folgt ihr eine zweite eben so beschaffene, dieser auf gleiche Weise eine dritte u. s. w. Ist t die Zeit, in der eine Welle den Weg zurücklegt, welcher dem vierten Theile ihrer Breite gleich ist; so hat sich die erste Welle mit ihrem Wellenberge c d B und ihrem Wellenthale A b c nach 4 t ganz gebildet, und trifft am Ende dieser Zeit mit dem Endpunkte B die Wand des Gefäßes. Nach 5 t hat der Wellenberg die halbe Breite durch sein Fortrücken eingebüßt, aber durch Reflexion eine doppelte Höhe erlangt, so, daß nun dieser halbe Wellenberg, das ganze Wellenthal und von der zweiten Welle wieder ein halber Wellenberg vorhanden ist (α). Nach 6 t füllt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg das Wellenthal A b c ganz aus, und bildet an seiner Stelle eine ebene Fläche, es ist aber von der zweiten Welle der ganze Berg gebildet (β). Nach 7 t gibt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg der ersten Welle mit dem directen der zweiten einen Berg von doppelter Höhe, das Wellenthal der ersten Welle hat die halbe Breite eingebüßt und durch das reflectirte halbe Wellenthal doppelte Tiefe gewonnen; auf der entgegengesetzten Seite befindet sich das halbe Wellenthal der zweiten Welle (γ). Nach 8 t hat sich der directe Wellenberg der zweiten Welle über das reflectirte Wellenthal der ersten Welle, und der reflectirte Wellenberg der ersten Welle über das directe Wellenthal der zweiten Welle gelagert. Da jedes Paar sich aufhebt, so besteht in diesem Augenblicke eine ebene Oberfläche der Flüssigkeit (δ). Nach 9 t hat der Wellenberg der zweiten Welle die halbe Breite verloren und durch Reflexion eine doppelte Höhe erreicht, das Wellenthal dieser Welle gibt zunächst an jenem mit dem reflectirten Wellenthale der ersten Welle ein doppelt so tiefes Wellenthal, und an dieses schließt sich der halbe Wellenberg der dritten Welle an, der durch den halben reflectirten Berg der ersten Welle eine doppelte Höhe erlangt, so daß nun die vorhandenen Wellen ganz symmetrisch angeordnet sind (ε). Nach 10 t sind die beiden Wellenthäler, welche vorhin das große Thal ausmachten, durch einander durchgegangen, und nehmen neben einander die ganze Länge des Gefäßes ein, zugleich

fällt in eines dieser Thäler der reflectirte Wellenberg der zweiten Welle, ins andere der directe Wellenberg der dritten Welle. Dadurch wird die Oberfläche der Flüssigkeit wieder eben, wie in δ (ζ). Nach 11 t hat das halbe Wellenthal der zweiten Welle durch Reflexion eine doppelte Tiefe erlangt und die halbe Breite verloren, daran schließt sich der Wellenberg der dritten Welle durch den Wellenberg der reflectirten zweiten zur doppelten Höhe gebracht, und endlich das halbe Thal der ersten reflectirten Welle mit dem halben Thale der directen dritten an, so daß nun wieder die Wellenform ganz symmetrisch ist und eine der ε entgegengesetzte Lage hat (η). Von nun an findet man, daß sich immer nur die drei Formen ε, ζ, η wiederholen, daß immer ein Wellenberg mit einem Wellenthale wechselt, ohne fortzuschreiten, daß jeder Berg aus zwei Hälften besteht, wovon zuletzt beide im Sinken, und jedes Thal aus zwei Hälften, wovon beide im Steigen begriffen sind. — Hätten die Wellen nicht die Länge des ganzen Gefäßes, sondern nur die eines aliquoten Theiles desselben, so entständen mehrere Schwingungsknoten; man kann sich aber die Sache auf gleiche Weise deutlich machen, wie vorhin geschehen ist. (Als Hauptquelle hierüber ist anzusehen: Wellenlehre, auf Experimente gegründet von Ernst und Wilh. Weber. Leipzig, 1825.)

Viertes Kapitel.

Bewegungsgesetze ausdehnsamer Körper (Aërodynamik).

305. Die Bewegungsgesetze ausdehnsamer Flüssigkeiten sind den für tropfbare Körper aufgestellten in vielen Stücken ähnlich, im Ganzen aber doch schwieriger zu entwickeln als diese und minder leicht einer populären Darstellung fähig. — Strömt ein Gas aus einer Oeffnung, welche an der dünnen Wand seines Behälters angebracht ist, in einen luftleeren Raum heraus; so wird seine Geschwindigkeit wie die eines tropfbaren Körpers berechnet, nur mit dem Unterschiede, daß die dieser Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe nicht die der wirklichen Gassäule ist, sondern jene, welche Statt finden würde, wenn man die ganze Gasmasse auf die Dichte reducirte, welche sie an der Ausflußöffnung hat. Strömt z. B. atm. Luft aus einem Gefäße in einen leeren Raum; so muß man, um jene Reduction machen zu können, den Barometerstand b, die Dichte D des Quecksilbers und die Dichte d der Luft an der Ausflußöffnung kennen. Heißt die zu findende Höhe x, so ist $d:D = b:x$ und $x = \frac{Db}{d}$, und daher die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft ausströmt, $\sqrt{\frac{2gDb}{d}}$. Diese Formel gibt natürlich auch die Ausflußgeschwindigkeit in einen leeren Raum für jedes andere Gas an, dessen Dichte an der Ausflußöffnung durch d ausgedrückt wird und das unter dem Drucke b steht. Es verhalten sich daher diese Geschwindigkeiten bei verschiedenen Gasen verkehrt, wie die Quadratwurzeln ihrer Dichten. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Gas in ein anderes hineinströmt, läßt sich nicht auf so einfache

Weise bestimmen. Indeß kann man doch die Differenz der Druckhöhen, deren eine dem ausströmenden Gase, die andere demjenigen entspricht, in welches jenes hineinströmt, als die Größe ansehen, welche statt x in obige Formel gesetzt, die gesuchte Geschwindigkeit gibt. Ein Gas, das in den bereits von einem anderen Gase erfüllten Raum strömt, hat eine kleinere Geschwindigkeit, als wenn jener Raum leer wäre (209), doch wird diese Verminderung der Geschwindigkeit nicht durch eine positive Gegenwirkung des Gases hervorgebracht, sondern nur durch Verengung der Ausströmungsöffnung.

306. Wenn man die Resultate dieser Berechnungen mit den Ergebnissen directer Versuche vergleicht, wie sie Schmidt (Gilb. Ann. 66. 39), d'Aubuisson (*Ann. de Ch.* 34. 380) u. a. angestellt haben; so findet man, daß jene eine viel größere Geschwindigkeit geben als diese. Nach Schmidt beträgt die wirkliche Geschwindigkeit nur 0.52 von der berechneten, wenn die Ausflußöffnung an einer dünnen Wand angebracht ist, wächst aber auf 0.6, wenn man die dünne Platte mit einer etwa 1 Zoll langen, cylindrischen Röhre vertauscht. Eine conische Röhre gibt eine noch größere Geschwindigkeit; die größte eine solche, deren äußere Durchmesser sich wie 1 : 2 verhalten, und deren Länge den Durchmesser fünf- bis zehnmal übertrifft. Die Ursache dieser Differenz zwischen der berechneten und der durch Versuche gefundenen Geschwindigkeit liegt ohne Zweifel in einer Zusammenziehung des Luftstrahles, welche der des Wasserstrahles (283) ähnlich ist. D'Aubuisson hat den Querschnitt des zusammengezogenen Strahles bei einer dünnen Wand gleich 0.65, bei einer cylindrischen Ansatzröhre = 0.93, bei einer conischen = 0.95 von dem Querschnitte der Oeffnung gefunden.

307. Auch die Bewegung der Gase in Röhrenleitungen stimmt mit der des Wassers beinahe ganz überein. Girard und Cagniard-Latour haben mit mehreren Gasen Versuche hierüber angestellt (*Mém. de l'Acad.* 5. 383), und dabei gefunden, daß atmosphärische Luft und Kohlenwasserstoffgas, ungeachtet ihrer verschiedenen Dichte, sich in Röhren nach demselben Gesetze bewegen und denselben Widerstand erleiden, und daß dieser Widerstand dem Quadrate ihrer mittleren Geschwindigkeit proportionirt ist. Die Gasmengen, welche Röhrenleitungen liefern, stehen im geraden Verhältnisse mit dem Drucke, den sie im Gasbehälter erleiden, und im verkehrten mit der Quadratwurzel der Länge der Leitungsröhren. Nur beim Ausfluß aus capillaren Oeffnungen zeigen Gase besondere Eigenthümlichkeiten. Nach Faraday's Versuchen (*Quart. Journ of sc.* 3. 354; 7. 106 und Pogg. Ann. 28. 355) strömt bei hohem Drucke ein bestimmtes Volum Wasserstoffgas schneller aus, als öhlbildendes Gas, bei niederem aber findet das Gegentheil Statt, wenn der Ausfluß durch enge Röhrchen, diese mögen von Glas oder Metall seyn, geschieht. Beim Ausfluß aus feinen, an Papier, Platinblechen etc. gemachten Ritzen und Löchern findet diese Verschiedenheit nicht Statt, sie zeigt sich aber desto mehr, je langsamer die Gase ausströmen. Dieses scheint nicht bloß von der Ver-

schiedenheit der Dichte der Gase abzuhängen, sondern von irgend einer anderen mechanischen Eigenschaft derselben.

308. Wenn Luft aus einem Gefäße ausströmt, so sucht der Druck auf die der Ausflußöffnung gegenüberstehende Wand dieselbe fortzubewegen. Ist das Gefäß leicht nach der Richtung dieses Druckes beweglich, so kann man sich auch durch die wirklich eintretende Bewegung vom Daseyn eines solchen Druckes überzeugen. Das Zurückstoßen der Gewehre und Kanonen beim Losfeuern, die Rotation der sogenannten Schwärmer, das Steigen der Raketen 2c., beruht darauf.

309. Die Ursache, welche in einer Luftmasse eine Bewegung erzeugt, ist Aenderung der Expansivkraft, die selbst wieder durch eine Aenderung der Dichte oder der Temperatur hervorgebracht wird. Daher kommt die Bewegung der Luft aus Blasbälgen, der Luftzug in Kaminen, bei Feuersbrünsten, der beständige Luftwechsel in unseren Zimmern zur Winterszeit 2c.

310. Wenn verdichtete Luft aus einer Oeffnung ausströmt und einen gegenüberstehenden Körper, z. B. eine leicht bewegliche Platte trifft; so sollte man wohl erwarten, daß diese vom Luftstrome fortgestoßen würde. Dieses ist auch wirklich der Fall, wenn der Ausfluß aus einer frei stehenden Röhre erfolgt; ist aber die Ausflußöffnung an einer breiten Wand angebracht, wie in Fig. 129, der eine leichte Platte in geringer Entfernung gegenüber steht, von einem Durchmesser, welcher den der Oeffnung weit übertrifft; so wird diese Platte gegen die Oeffnung hingetrieben. Diese Erscheinung hat denselben Grund wie die Vermehrung der Ausflußmenge eines Gases durch eine conische Ansatzröhre (288). Auch da fließt durch die ringförmige Oeffnung mehr Luft ab, als durch die enge Oeffnung an der Wand des Gefäßes vermöge des inneren Luftdruckes nachfolgen kann, und es würde ein luftleerer Raum zwischen der Wandöffnung und der Platte entstehen, wenn die äußere Luft nicht die letztere gegen die Platte triebe und den ringförmigen Raum verminderte. Von der Wirklichkeit dieses Herganges überzeugt man sich mittelst des Apparates (Fig. 130), wo die Ausflußröhre A seitwärts eine heberförmige, Quecksilber enthaltende Röhre a zur Bestimmung der etwaigen Aenderung des Luftdruckes und die Deckelplatte B eine eben solche b zu demselben Zwecke hat, überdieß sind aber noch an der Wand C, längs welcher die ausströmende Luft hinstreicht, drei in Wasser reichende Röhren angebracht. Beim Ausströmen von Luft zeigt die Bewegung des Quecksilbers in a und b, daß innerhalb dieser Röhre der Luftdruck größer ist als auswärts, aber in den Röhren c, d, e steigt das Wasser und zwar in c mehr als in d, in d mehr als in e zum Beweise, daß zwischen den Platten der Druck kleiner als von außen sey.

Aehnliche Erscheinungen bewirkt auch eine Vermehrung der Geschwindigkeit eines strömenden Gases, welche die der Druckhöhe entsprechende Größe überschreitet; denn da wird der sonst auf die Gefäßwände nach auswärts gerichtete Druck in einen nach einwärts gerechneten verwandelt (289). Man sieht dieß an dem Apparate Fig. 131. Dieser bestehet aus einem Gefäße A B, an dessen einem Ende B eine enge, am

anderen A eine viel weitere Röhre angesetzt ist, während unten eine heberförmige, Quecksilber enthaltende Röhre angebracht ist. Bläst man durch die weitere Ansatzröhre in das Gefäß, so steigt das Quecksilber im äußeren Heberschenkel; thut man dieses durch die engere Röhre, so sinkt das Quecksilber in selbem. (Schweigg. Journ. 53 304. Pogg. Ann. 15. 310.) Hieher gehören auch die Erscheinungen, welche ein aus einer Röhre hervortretender, gegen eine Wand gerichteter Luftstrom zeigt, die sich mit Hülfe einer Lichtflamme nachweisen lassen, deren Richtung jene der bewegten Luft angibt. Wird z. B. ein Luftstrom durch die Röhre A (Fig. 132) gegen die Wand B C geblasen, so weicht eine Lichtflamme in E oder F gegen die Wand hin ab, und man findet so, daß nicht, wie man beim ersten Anblicke vermuthet hätte, der gegen die Wand geblasene Luftstrom von derselben abprallt, sondern vielmehr das Gegentheil erfolgt, daß aber der Luftstrom längs der Wand nach der Richtung B C hingleitet.

311. Der Druck, welchen bewegte Luft gegen ein Hinderniß ausübt, ist im Allgemeinen wie jener des Wassers (290) zu beurtheilen. Man darf aber dabei nicht vergessen, daß man es mit einer ausdehnsamen Flüssigkeit zu thun habe, die beim Anstoßen verdichtet wird und sich hierauf wieder ausdehnt, und sowohl in diesem als in jenem Falle gleich einem elastischen Körper auf den gestoßenen Körper wirkt. Indeß ist man hierin noch nicht, weder auf dem Wege der Rechnung, noch auf dem der Erfahrung, völlig ins Reine gekommen, und letztere lehrt oft ein Verhalten beim Stoße der Luft, das man aus unseren theoretischen Untersuchnngen nicht abzuleiten im Stande ist. Auf dem Gesetze des Luftstoßes beruht die Richtung der Wetterfahnen, die der Segel eines Schiffes, die Zweckmäßigkeit im Baue der Pflanzen, welche Windstöße auszuhalten haben 2c. 2c.

Fünftes Kapitel.

Gesetze der schallenden Bewegung (Akustik).

A. Vom Schalle überhaupt.

312. Es gibt Bewegungen, durch welche das den bewegten Körper umgebende Mittel erschüttert, und ein gesundes Gehörorgan so afficirt wird, daß dadurch die Empfindung des Schalles entsteht. Demnach ist zur Entstehung eines Schalles ein bewegter (schallender) Körper, ein dessen Bewegung fortpflanzendes Mittel und ein gesundes Gehörorgan nothwendig. Als schallender Körper kann jeder auftreten, der das umgebende Mittel schnell und stark genug erschüttert. Daher kann ein Insect durch die mit der Flügelbewegung verbundenen raschen Zusammenziehungen und Erweiterungen der Brusthöhle, welche ein stoßweises Aus- und Einathmen der Luft bewirken (Burmeister, in Pogg. Ann. 38. 283), ein Stab oder eine Peitsche, die schnell genug durch die Luft fahren, eine Luftmasse, die angezündet wird und dabei ein Product von viel kleinerem Volum liefert, wie z. B. Knallgas, einen Schall erregen. Vorzüglich sind

aber dazu jene Körper geeignet, die durch irgend eine mechanische Kraft, z. B. durch einen Stoß, eine Formänderung erleiden und elastisch genug sind, um ihre vorige Gestalt wieder genau anzunehmen. Da werden nämlich die aus ihrer natürlichen Lage gebrachten Theile durch ihre Elasticität dieser Lage zugetrieben, haben aber, gerade wenn dieselbe erreicht ist, die größte Geschwindigkeit, und müssen sich demnach über diese Lage hinaus bewegen, bis ihre Geschwindigkeit durch den Zug der Elasticität aufgehoben ist. Wenn aber dieses geschehen ist, befinden sich die Theile wieder nicht in einer natürlichen Lage, und so kommt es, daß ein solcher Körper eine Reihe gleichzeitiger Schwingungen macht, die denen eines schweren Pendels (241) ähnlich sind. Als Schallmittel kann jeder Körper dienen, der eine erlittene Erschütterung fortzupflanzen vermag. Das gewöhnliche Schallmittel ist die atm. Luft; es sind aber alle Körper, sie mögen fest oder tropfbar seyn, ja sogar die Dünste dazu geeignet, wie man aus unzähligen Erscheinungen abnehmen kann. Hält man z. B. das Ohr an das Ende eines Stabes, der am anderen Ende eine Uhr berührt, so hört man ihren Gang besser als durch die Luft; durch die Erde wird der Donner der Kanonen auf ungeheuere Entfernungen fortgepflanzt; zwei Steine, die unter Wasser zusammengeschlagen werden, hört man in demselben und außerhalb desselben; Fische folgen dem Schalle einer Glocke, die sich außer dem Wasser befindet; hängt man ein Glöckchen in einer gläsernen, mit Dampf gefüllten Kugel mittelst eines feinen Fadens auf, so hört man seinen Klang recht vernehmlich durch die Dünste.

313. Der Charakter eines Schalles wird durch sein Quantitatives und durch sein Qualitatives bestimmt. Seine Qualität läßt sich nicht beschreiben, sie ist das, wodurch sich z. B. eine Menschenstimme von dem musikalischen Schalle eines Instrumentes, ja selbst der Schall eines Instrumentes von dem eines anderen unterscheidet. Man kann es mit Chladni den Laut oder vielleicht noch passender den Klang des Schalles nennen. Das Quantitative bezieht sich auf die Stärke, Höhe und Tiefe des Schalles. Ein Schall, der uns als etwas Einfaches, in seinen Theilen Gleichartiges erscheint, heißt Klang; ein in Bezug auf Höhe und Tiefe betrachteter Klang, ein Ton. Man sagt: eine Saite klingt und gibt einen hohen oder tiefen Ton; ein Wasserfall macht ein Geräusch. Zwei zu gleicher Zeit erzeugte Töne klingen entweder angenehm oder unangenehm zusammen; im ersten Falle bilden sie eine Consonanz, im zweiten eine Dissonanz. Drei oder mehrere consonirende Töne geben einen Akkord. Eine geregelte Folge einzelner Töne heißt Melodie; eine geregelte Folge von Akkorden Harmonie. Ein Klang wird nur durch regelmäßige Schwingungen des schallenden Körpers erzeugt, und darum werden geregelt, schnell und hinreichend stark schwingende Körper auch vorzugsweise als klingende Körper angesehen.

B. Fortpflanzung des Schalles.

314. Jeder schwingende Körper wirkt durch seine Bewegung auf alle jene, die mit ihm in Berührung stehen, und erzeugt in denselben durch jeden hinreichend kräftigen Stoß eine Verdichtung und unmittelbar darauf eine Verdünnung; beide rücken gleichförmig vorwärts und kommen bis zu unserem Gehörorgane, wo sie die Schallempfindung erregen. Der Grund dieser Fortpflanzung liegt in der Elasticität der Materie, und erfolgt daher, dem Wesen nach, in allen Körpern, welche diese Eigenschaft besitzen, auf gleiche Weise. Darum wird eine nähere Betrachtung des inneren Verlaufs bei der Schallfortpflanzung in der Luft, als Erläuterung dieser Fortpflanzung in jedem anderen Körper angesehen werden können.

315. Man denke sich eine gleichförmig dichte, cylindrische Luftsäule AB (Fig. 133), an deren Ende A sich ein schallender Körper befindet, nehme an, daß in einem, auf der Axe der Röhre senkrechten Querschnitt alle Lufttheilchen zugleich in denselben Zustand versetzt werden, so daß man von jedem solchen Querschnitte nur ein Theilchen zu betrachten braucht, und von diesem auf alle anderen schließen kann, ferner, daß sich die der Oeffnung A zugekehrte Fläche des schallenden Körpers in ihrem natürlichen Zustande in c c′, bei der größten Excursion aber in b b′ und a a′ befinde, die Bewegung desselben beginne aber von a a′ aus. Wiewohl der schallende Körper ohne Unterbrechung von a a′ bis b b′ fortrückt und wieder zurückkehrt, so kann man sich doch seine Wirkung auf das Schallmittel als aus einer Reihe von Stößen zusammengesetzt denken, weil sich die kleinste Bewegung des Körpers alsogleich der Luft mittheilt und ungemein schnell in derselben fortgepflanzt wird, so daß letztere für einen gleich darauf folgenden Stoß als ruhig anzusehen ist. So wie nun derselbe Körper über a a′, wenn auch noch so wenig hinaustritt, stoßt er auf die Luftsäule, verdichtet das zunächst an ihm liegende Lufttheilchen; dieses thut dasselbe mit dem zweiten, das zweite mit dem dritten u. s. f., zugleich wird diesen Theilchen eine ihrer Verdichtung proportionirte Geschwindigkeit nach der Richtung ihrer Bewegung mitgetheilt. Bliebe nun auch die bewegte Fläche in ihrer dermaligen Lage, so müßte die Verdichtung der Lufttheilchen gleichförmig weiter rücken und immer neue Theilchen treffen, so wie sich der Stoß in einer Reihe elastischer, einander berührenden Kugeln fortpflanzt. Dieses Fortschreiten kann aber nur nach der Richtung AB erfolgen, wiewohl die verdichteten Theile nach allen Seiten einen gleichen Druck ausüben; denn seitwärts werden sie durch die Wände des Cylinders gehindert, und rückwärts kann sich die Verdichtung nicht fortpflanzen, weil die Tendenz der Theilchen, vermöge ihrer Verdichtung nach rückwärts zu gehen, durch die ihnen schon mitgetheilte Geschwindigkeit nach vorwärts aufgehoben wird. So wie die schallende Fläche noch weiter von a a′ weggerückt, wiederholt sie die vorige Wirkung, ertheilt den ihr anliegenden, bereits wieder zur Ruhe gekommenen Lufttheilchen abermals eine Verdichtung, welche sich auch, wenn diese Bewegung des schallenden Kör-

pers unmittelbar auf die vorhergehende folgt, an die erste verdichtete Schichte unmittelbar anschließt und mit ihr fortrückt. Dieses geht so fort, bis die genannte Fläche in b b' anlangt, wo ihre Geschwindigkeit zu Ende ist. Diese ganze verdichtete Luftsäule, welche durch die Excursion von a a' bis b b' entstanden ist, vertritt die Stelle der bewegten Fläche, und erzeugt vor sich eine eben so lange zweite verdichtete Schichte, diese eine dritte u. s. f. Beim Zurückgehen der Fläche von b b' nach a a' entsteht eine verdünnte, eben so lange Luftsäule, wie die verdichtete war, und diese fällt auf denselben Platz, den vorher die verdichtete einnahm; sie pflanzt sich nach derselben Richtung fort, wie die verdichtete Säule, und entfernt sich demnach immer mehr vom schallenden Körper, wiewohl die Lufttheilchen eine entgegengesetzte Richtung haben und sich gegen den schallenden Körper hin bewegen. Auf solche Weise erzeugt jeder Hin- und Hergang des schallenden Körpers in der Luft eine verdichtete und eine eben so lange verdünnte Säule, wovon sich jene unmittelbar an diese anschließt und in sie übergeht. Beide zusammen machen eine Schallwelle aus. Die Länge beider Stücke zusammengenommen heißt auch die Länge der Schallwelle. Der verdichtete Theil dieser Schallwelle hat an seinen beiden Enden die natürliche, in der Mitte aber die größte Dichte, so daß diese gegen beide Enden zu immer kleiner wird; eben so haben die Theile dieses Wellenstückes (nicht die Welle selbst) an beiden Enden die kleinste, in der Mitte die größte Geschwindigkeit. Auf gleiche Weise haben die verdünnten Theile der Welle in der Mitte die kleinste Dichte (größte Verdünnung) und die größte Geschwindigkeit, an beiden Enden natürliche Dichte (keine Verdünnung) und die kleinste Geschwindigkeit. Dieses kommt daher, weil der bewegte Körper, von dessen Bewegung die Verdichtung, Verdünnung und die Geschwindigkeit der Theile abhängt, in a a' und b b' die kleinste (= 0), in c c' aber die größte Geschindigkeit hat. Die Länge einer Schallwelle in der Luft hängt von dem Verhältnisse der Expansivkraft der Luft zur Dichte und von der Schnelligkeit der Bewegungen des schallenden Körpers ab. Ihr verdichteter und verdünnter Theil haben streng genommen nicht gleiche Längen; ersterer ist um die ganze Excursion des schallenden Körpers kleiner, als der Weg, den die Verdichtung der Luft während eines Hinganges des schallenden Körpers zurücklegt, letzterer um eben so viel größer als der Weg der Verdünnung der Luft während des Zurückgehens des schallenden Körpers. Die Länge der ganzen Schallwelle ist demnach dem Wege genau gleich, den die Verdichtung (oder Verdünnung) der Luft während eines Hin- und Herganges des schallenden Körpers durchläuft.

Man sieht aus dieser Darstellung, daß die Schallfortpflanzung in einem Fortschreiten der Verdünnung und Verdichtung des Schallmittels bestehe, daß dabei die Theile dieses Mittels die Lage ihres Gleichgewichtes nur sehr wenig verlassen, und sich bald nach der Richtung der Schallfortpflanzung, bald nach der entgegengesetzten bewegen. Die Schallwelle ist immer der Inbegriff aller durch einen Hin- und

Hergang des schallenden Körpers, d. h. durch eine Schwingung (beim schweren Pendel wäre dieses eine Doppelschwingung) in Bewegung gesetzten Theilchen des Schallmittels.

316. Was in einer cylindrischen Luftsäule vorgeht, dasselbe muß auch in freier Luft, die einen schallenden Körper rings umgibt, Statt finden. Jeder schwingende Punkt eines solchen erregt nämlich rings um sich in der Luft eine Verdichtung und Verdünnung; diese schreitet, wenn die Luft nach allen Richtungen von einerlei Beschaffenheit ist, allenthalben nach der normalen Richtung gleich schnell fort, und so entstehen von jedem Punkte Wellen, wovon die erste eine ganze Kugel vorstellt, in deren Centrum der schallende Körper gedacht werden kann, er mag was immer für eine Gestalt haben. Jede Seitenbewegung wird durch den Widerstand der in gleichem Zustande der Verdichtung oder Verdünnung befindlichen Lufttheilchen unmöglich gemacht. Die folgenden Wellen, welche aus dem Fortschreiten der unmittelbar erzeugten entstehen, bilden hohle concentrische Kugelschalen, deren jede selbst wieder aus zwei concentrischen Theilen besteht, in deren einem die Luft verdichtet, im anderen verdünnt ist. Alle von den einzelnen Punkten des schallenden Körpers ausgehenden Wellen (Elementarwellen) setzen sich zu einer einzigen (wirksamen) Welle zusammen, welche gleichsam alle einzelnen in sich enthält, und, wenigstens in größerer Entfernung von dem schallenden Körper, als eine Kugelschale betrachtet werden darf, in deren Centrum irgend ein Punkt des schallenden Körpers befindlich ist. Die Dicke einer solchen Schale ist die Länge der Schallwelle. (Bei einer Wasserwelle heißt die analoge Größe die Breite der Welle.) Diese ändert sich während ihrer Erweiterung nicht, sondern es nimmt nur die Größe der Verdünnung und Verdichtung ab. Wenn man sich innerhalb der beiden Grenzflächen einer solchen Welle eine mit ihr concentrische Kugelfläche denkt, so sind alle auf ihr befindlichen Theile in demselben Grade verdichtet oder verdünnt, es kann daher kein Theil derselben seitwärts ausweichen und eben so wenig zurückgehen; daher bleibt nur die Bewegung nach vorwärts übrig, und jedes Theilchen pflanzt seine Bewegung nach einer normalen Richtung, d. i. bei Kugelwellen nach der Richtung eines Halbmessers der Kugel fort. Diese Richtung gibt uns diejenige an, von welcher der Schall kommt, weil die Lufttheilchen, durch deren Bewegung die Welle entsteht, nach dieser Richtung das Ohr treffen. Man nennt die Richtung, in welcher sich die Bewegung der Theile des Schallmittels fortpflanzt, einen Schallstrahl.

317. Wenn an mehreren Stellen zugleich Schallwellen erregt werden, so pflanzt sich jede unabhängig von der anderen fort; treffen sie irgendwo zusammen, so durchkreuzen sie sich und setzen ihren Weg auch nach der Durchkreuzung unverändert fort, als hätten sie sich nie begegnet. Nur an der Durchkreuzungsstelle wirken sie auf einander ein (interferiren einander), und verstärken oder schwächen sich, oder heben sich daselbst gar auf, je nachdem sich die Theile der sich schneidenden Wellenstücke nach derselben oder nach entgegengesetzten Richtun-

gen bewegen. Hieraus wird begreiflich, wie man mehrere Laute zugleich hören kann.

318. Erfahrungen über die Fortpflanzung des Schalles in der Luft macht man am besten Nachts, mittelst Abfeuern von Kanonen, indem man die Zeit mißt vom Augenblicke, wo man das Licht aus einer gemessenen Entfernung sieht, bis zu dem, wo man den Schall hört, und sie mit der Entfernung vom Orte der Explosion vergleicht. Man hat dabei auf die Stärke und Richtung des Windes wie auch auf Wärme und Feuchtigkeit der Luft die genaueste Rücksicht zu nehmen, weil man aus theoretischen Gründen weiß, daß diese einen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung ausüben. Solche Versuche hat man schon in der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhundertes unternommen, und sie von dieser Zeit bis auf unsere Tage öfters wiederholt. Allein es blieb noch immer Manches zu wünschen übrig, besonders weil man nie im Stande war, Resultate zu erhalten, die vom Einflusse des Windes ganz frei waren. Die in dieser Hinsicht genügendsten Versuche sind jene, welche im Jahre 1823 von Moll (Zeitsch. 1. 213.) und anderen angestellt wurden, weil man an jedem Endpunkte einer genau gemessenen Linie in demselben Augenblicke eine Kanone abfeuerte, die Zeit vom Augenblicke der Lichterscheinung bis zum Vernehmen des Schalles an beiden Stationen beobachtete, und so auf einmal zwei Resultate erhielt, deren eines durch den Einfluß des Windes vergrößert, das andere eben dadurch verkleinert war, deren Mittelwerth aber als von diesem Einflusse nahe frei angesehen werden konnte. Es ergab sich daraus, daß der Schall bei einer Temperatur von 0° C. und in ganz trockener atm. Luft in gleichförmiger Bewegung in einer Secunde 332.244 Meter oder nahe 1050 W. F. zurücklegt. (Pogg. Ann. 5. 351, 469; 19. 115.) Diese Geschwindigkeit kommt dem Schalle in der Luft unter den gegebenen Umständen zu, man mag seine Ausbreitung nach oben oder in horizontaler Richtung betrachten; denn bei den von Stampfer und Myrbach (Jahrb. des polyt. Inst. Bd. 7.) angestellten Versuchen hatten die beiden Standpunkte der Beobachter einen Höhenunterschied von 4198 P. F., und doch fand man ein dem vorigen sehr nahes Resultat. (333.2 Meter.) Auch der reflectirte Schall hat nach Gregory's Versuchen (Zeitsch. 1. 215) mit dem directen einerlei Geschwindigkeit. Der Wind beschleunigt ihn nach desselben Versuchen um seine eigene Geschwindigkeit, wenn er mit ihm geht, und verzögert ihn um eben so viel, wenn er ihm entgegenkommt. In feuchter Luft bewegt sich der Schall schneller als in trockener, wie Goldingham in Madras ganz außer Zweifel gesetzt hat. Den größten Einfluß auf die Geschwindigkeit des Schalles hat die Wärme, indem sie das Verhältniß der Expansivkraft zur Dichte der Luft, von dem allein die Fortpflanzungsgeschwindigkeit abhängt, modificirt. Die Höhe oder Tiefe und die Stärke des Schalles haben auf seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit keinen Einfluß.

319. Durch feste und tropfbare Körper geht die Fortpflanzung

des Schalles dem Wesen nach eben so, aber schneller vor sich, wie durch die atm. Luft. Biot fand sie in einer eisernen Röhre $10^1/_2$mal schneller. Chladni fand durch ein sehr sinnreiches Mittel die Geschwindigkeit des Schalles im Zinn $7^1/_2$mal, im Silber 9mal, im Kupfer nahe 12mal, im Glas 17mal, in gebranntem Thon 10 — 12 mal, in verschiedenen Hölzern 11 — 17mal schneller als in der atm. Luft. Colladon und Sturm fanden die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser des Genfer Sees durch directe Versuche bei 8°.1 C. gleich 1435 M., also über 4mal größer als in der Luft. Im Eise und im Wasser von 0° C. fand man die Schallgeschwindigkeit gleich groß. Man hat auch die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen untersucht, und das Gesetz bestätiget gefunden, daß sie sich nach dem Verhältnisse der Expansivkraft zur Dichte, also bei gleichen Temperaturen nach der specifischen Expansivkraft derselben richte. Dulong fand, daß der Schall bei 0° C. in einer Secunde im Sauerstoffgas 317.17 Meter, im Wasserstoffgas 1269.5 M., im Kohlensäuregas 261.6 M., im Kohlenoxydgas 387.4 M., im Stickstoffoxydgas 261.9 M., im Oehlgas 314 M. zurücklege. (Zeitsch. 6. 502.)

320. Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft hat zuerst Newton aus theoretischen Gründen abzuleiten gesucht, und dafür den Ausdruck $\sqrt{Hg}$ gefunden, wo H die Höhe der Atmosphäre bedeutet, wenn sie ohne Aenderung des Druckes auf die an der Erdoberfläche herrschende Dichte reducirt ist, und g die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers am Ende der ersten Secunde. Diese Formel gibt eine Geschwindigkeit von 279.29 Meter, also nahe um $^1/_6$ weniger, als wirkliche Versuche. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt, wie Laplace zuerst bemerkt hat, darin, daß man bei der Deduction dieser Formel nicht darauf Rücksicht genommen hat, daß sich die Luft bei der Verdichtung erwärmt, also eine größere Expansivkraft bekommt, und sich beim Verdünnen erkältet, mithin eine geringere Expansivkraft erlangt. Da nun die beschleunigende Kraft, wodurch die Fortpflanzung erzeugt wird, in dem Unterschiede der Expansivkraft der verdichteten oder verdünnten Luft gegen die Expansivkraft der in ihrer natürlichen Dichte befindlichen liegt, und dieser Unterschied bei der verdichteteten Luft durch Erwärmung, bei der verdünnten durch Erkältung erhöht wird; so ist die Richtigkeit der Laplace'schen Behauptung wohl außer Zweifel gesetzt, weßwegen in erwähnter Formel der Werth von H vergrößert werden muß. Es gibt auch die darnach corrigirte Formel ein mit der Erfahrung sehr nahe übereinstimmendes Resultat (332.8 Meter). Ist c die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft bei 0° C., v diese Geschwindigkeit bei t° C. und α der Ausdehnungscoefficient der Luft für 1° C. (185), so ergibt sich der obigen theoretischen Formel gemäß $v = c\sqrt{1 + \alpha t}$.

Laplace hat auch ein Mittel angegeben, durch welches man die Geschwindigkeit des Schalles in jedem Körper leicht finden kann, welches so lautet: Ist das Fortpflanzungsmittel ein fester Körper, so untersuche man, um wie viel sich ein 1 Fuß langer Stab von dieser Ma-

terie verlängert, wenn er an einem Ende befestigt und am anderen durch eine Kraft in die Länge gezogen wird, die seinem eigenen Gewichte gleich ist. Ist das Fortpflanzungsmittel flüssig, so messe man die Verminderung einer 1 Fuß langen, horizontalen Säule, die sie erleidet, wenn sie durch ein dem ihrigen gleiches Gewicht zusammengedrückt wird. Dividirt man durch diese Größe das Maß der Schwere g, so gibt die Quadratwurzel des Quotienten die Geschwindigkeit des Schalles im betreffenden Körper in Fußen. — Tralles hat den Beweis dieses Satzes folgendermaßen gegeben: Die theoretische Formel für die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft ist $= \sqrt{Hg}$. Wäre nun ein Kubikfuß atm. Luft einem Drucke unterworfen, welcher der Höhe H entspricht, und es würde dieser Druck um eine Einheit vermehrt; so müßte der gegebene Kubikfuß um den Raum s zusammengedrückt werden, so daß man hätte $1 - s : 1 = H : H + 1$, woraus folgt

$$H = \frac{1}{s} - 1 = \frac{1-s}{s} = \frac{1}{s},$$

wenn s gegen 1 sehr klein ist. Dieser Werth in obiger Formel substituirt, gibt die Geschwindigkeit $= \sqrt{\frac{g}{s}}$. (Gilb. Ann. 57. 254; 65. 43.)

321. Die Fortpflanzung des Schalles erfolgt dem Vorhergehenden gemäß durch den Stoß des schallenden Körpers auf das ihn umgebende Mittel und durch den eines Theils dieses Mittels auf den daran grenzenden. Wenn daher der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen will, so üben auch die Theile des ersten auf das zweite eine Wirkung aus, die nach den Gesetzen des Stoßes elastischer Körper (264) vor sich geht. Darum wird zwar die Schallwelle in das neue Mittel eindringen, ein Theil davon wird aber in das alte zurückkehren, d. i. reflectirt werden. Man muß aber die regelmäßige Reflexion des Schalles von der Zerstreuung desselben wohl unterscheiden. Bei ersterer bilden die einzelnen Elementarwellen, die sich zu einer wirksamen Schallwelle zusammengesetzt haben (316), selbst noch nach der Zurückwerfung eine wirksame Welle, bei letzterer wird eine wirksame Welle durch Reflexion in ihre Elementarwellen aufgelöset, und hört dadurch auf, eine deutliche Schallempfindung hervorzubringen; bei ersterer macht der reflectirte Schallstrahl mit der Trennungsfläche beider Mittel einen Winkel, welcher jenem gleich ist, den der auffallende Strahl mit derselben einschließt, bei letzterer wird der einfallende Strahl durch Reflexion in eine Menge nach verschiedenen Richtungen ausfahrender einzelnen Strahlen aufgelöset; erstere tritt ein, wenn die Grenze der Schallmittel, wo die Zurückwerfung Statt hat, eine Ebene oder eine ziemlich regelmäßig gekrümmte Fläche ist, letztere, wenn diese Grenze unregelmäßige Erhöhungen und Vertiefungen hat. Das Verhältniß der Intensität des regelmäßig reflectirten und durchgelassenen Strahles richtet sich nach dem Verhältnisse der Schallgeschwindigkeit in beiden an einander grenzenden Mitteln. Die regelmäßige Reflexion tritt nach den angeführten Gesetzen am deutlichsten an nach einer Kugelkrümmung ausgehöhlten Flächen (Nischen in Gebäuden) hervor. Stellt man zwei solche hohle Flächen (Hohlspiegel)

einander gegenüber, und es spricht einer mit dem Gesichte gegen die Fläche gekehrt in der Entfernung des halben Radius derselben, so hört ihn ein zweiter, der sein Ohr in der entsprechenden Entfernung von der zweiten Fläche hat, deutlich, während andere in der Nähe befindliche nichts hören. Es werden also die Schallstrahlen, welche auf die erste Fläche auffallen, parallel mit einander reflectirt, fallen so auf die zweite, und erleiden daselbst wieder eine Reflexion, wodurch sie aber vereiniget werden. Von der Art war das sogenannte Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen bei Sirakus.

Aus dem Gesagten ist begreiflich, daß nicht bloß feste, sondern auch tropfbare und ausdehnsame Körper, wie z. B. Wolken, warme Luft u. s. w., den Schall reflectiren können, und daß überhaupt bei jedem Uebergange des Schalles von einem Mittel in ein anderes eine Reflexion eintritt. Bei den Schallversuchen in Frankreich bemerkte man, daß der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel ganz einfach gehört werde, während er bei einer nur mäßigen Bewölkung an demselben Orte wie das Rollen des Donners erschien, zum Beweise, daß selbst Wolken den Schall reflectiren.

322. Ist die Entfernung des reflectirenden Körpers von der Quelle des Schalles nicht groß, so fällt der reflectirte Schall mit dem ursprünglichen zusammen, und bewirkt eine Verstärkung desselben; beträgt die Entfernung mehr, so kann durch die Reflexion der ursprüngliche Schall nicht bloß verstärkt, sondern auch verlängert werden, jedoch ohne daß eine Unterbrechung wahrzunehmen ist. Dieses nennt man einen Nachhall. Ist endlich die Entfernung so groß, daß der reflectirte Schall erst dann zurückkommt, wenn sich das Ohr vom ersten Schalle so erholt hat, daß es für einen zweiten vollkommen empfänglich ist; so vernimmt man den Schall doppelt, und diese Erscheinung heißt Wiederhall oder Echo. Da der Erfahrung gemäß das menschliche Gehör in einer Secunde 9 Laute völlig deutlich vernehmen und von einander unterscheiden kann; so muß ein Gegenstand, der den letzten Laut eines zusammenhängenden Schalles als Echo zurücksenden soll, $1050 : 18 = 58.3$ Fuß entfernt seyn. Beträgt diese Entfernung $58.3 \times 2 = 116.6$ Fuß, so werden die zwei letzten Laute im Echo vernehmbar, oder es ist zweisylbig, bei der Entfernung von $58.3 \times 3 = 174.9$ Fuß dreisylbig ꝛc. Gibt es mehrere reflectirende Gegenstände, wovon einer ein einsylbiges, der andere ein zweisylbiges, der dritte ein dreisylbiges Echo hervorbringt; so entsteht ein zweifaches oder dreifaches Echo. Daß zur Entstehung eines Echo's nicht bloß die gehörige Entfernung des reflectirenden Körpers vom Hörenden, sondern auch eine der regelmäßigen Reflexion (nicht Zerstreuung) des Schalles günstige Beschaffenheit desselben gehöre, ist aus dem Vorhergehenden klar.

Ein Echo mag wohl im Freien sehr ergötzen, in Hörsälen, Theatern ꝛc. ist es aber höchst nachtheilig. Um es da zu verhüten oder zu mindern, ist das Durchbrechen der Decke, das Unebenmachen derselben mit Zierrathen, das Behängen mit Teppichen, oder wenn die Wände hohl sind, das Ausfüllen der Höhlungen mit Sägespänen, ein wirksames

Mittel. Es gibt viele schon vom Alterthume her berühmte Echo. Ein solches am Grabmale der Metella, Gemahlin des Crassus, soll den ersten Vers der Aeneide achtmal wiederholt haben; ein Echo zwischen Coblenz und Bingen soll ein Wort siebzehnmal wiederholen, ein anderes bei dem Schlosse Simonetta unweit Mailand gibt gar eine vierzigmalige Wiederholung desselben Lautes. Bei Verdun ist ein zwölf bis dreizehnfaches Echo vernehmbar. In großen, durch Kuppelgewölbe geschlossenen Räumen sind mehrfache Echo keine Seltenheit.

C. Der Schall in Beziehung auf Höhe und Tiefe. (Tonlehre.)

323. Ein einziger, von einem schallenden Körper auf das Schallmittel und dadurch auf das Gehörorgan ausgeübter Stoß bewirkt nur einen unbestimmten Schall; ein Klang fordert eine Reihe periodisch wiederkehrender, rascher Stöße, wie sie bei Oscillationen Statt finden. So verschieden derlei Stöße nach ihrer Stärke, nach der Dauer ihrer periodischen Wiederkehr und dem Gesetze derselben seyn können, so mannigfaltig können auch Klänge in Bezug auf Stärke, Höhe, Tiefe und Qualität seyn.

324. Die Stöße, deren Aufeinanderfolge die objective Ursache eines nach Höhe und Tiefe meßbaren Klanges (Tones) ist, müssen so schnell auf einander folgen, daß sie im Ohre eine einzige Empfindung hervorbringen. Dazu gehört, daß wenigstens 16 Schwingungen in einer Secunde vor sich gehen. Werden diese Schwingungen zu schnell, so verschwindet für das Gehör die in jeder einzelnen herrschende Regelmäßigkeit, und dieses vernimmt keinen Ton mehr, sondern nur eine Art Zischen, wie dieses der Fall ist, wenn in einer Secunde über 16,000 Schwingungen auf das Ohr einwirken. Eine Art Schallempfindung kann aber selbst noch durch Schwingungen erregt werden, deren 48,000 in einer Secunde auf einander folgen (Savart, in Zeitsch. 9. 16. — *Ann. de Chim.* 47. 69.). Je schneller Schwingungen vor sich gehen, desto höher ist der dadurch erregte Ton. Davon kann man sich durch viele Versuche überzeugen; am leichtesten durch die Syrene, ein von Cagniard de Latour ersonnenes Instrument, das dem Wesen nach eine Röhre vorstellt, durch welche ein Luftstrom getrieben werden kann, und die man abwechselnd und schnell hinter einander öffnet und wieder schließt. Sie gibt einen desto höheren Ton, je schneller dieses Oeffnen und Schließen auf einander folgt. Dasselbe kann man auch aus Versuchen mit Saiten entnehmen. Entlockt man nämlich einer langen Saite einen Ton, und verkürzt sie hierauf und bringt sie wieder zum Tönen, so bemerkt man deutlich, daß durch die Verkürzung die Schwingungen an Geschwindigkeit und der Ton an Höhe zugenommen habe.

Die Syrene ist in Fig. 134 abgebildet. Sie besteht aus einer Röhre, die zu einem cylindrischen Behälter führt, der mit einer kreisförmigen Platte geschlossen ist, in welcher in einem Kreise herum mehrere Löcher angebracht sind, so daß die Luft, die man in die Röhre bläst, durch dieselben entweichen kann. Auf jener Platte befindet sich eine andere, um eine auf ihrer Ebene senkrechte Axe äußerst leicht

drehbare, ebenfalls mit mehreren, gleichweit von einander abstehenden, gegen die Halbmesser der Platte senkrecht, gegen ihre Ebene aber unter dem Winkel von 45° gebohrten Löchern, welche auf die der ersteren Platte passen. Diese Platte wird durch den aus den Oeffnungen der unteren Platte hervortretenden Luftstrom, der schiefen Stellung ihrer Löcher wegen, in Bewegung gesetzt, und läßt sich durch Regulirung des Luftstroms in beliebiger constanter Geschwindigkeit der Drehung erhalten. Während einer Umdrehung fällt jede ihrer Oeffnungen einmal auf jede Oeffnung der Spalte der Bodenplatte so, daß die Luft während einer solchen Umdrehung so oft aus der Röhre entweichen kann und wieder zurückgehalten wird, als die Löcher beider Platten zusammenfallen.

325. Das menschliche Gehör kann zwar sehr kleine Unterschiede in den Tonhöhen wahrnehmen, aber eine gewisse Folge von Tönen gewährt ihm eine besondere Befriedigung. In dieser Folge kommt man von einem bestimmten Tone, den man der Vergleichung zum Grunde legt und Grundton (tonica) heißt, nach sechs Zwischentönen auf einen solchen, der wiewohl höher oder tiefer als der Grundton, doch mit demselben so genau zusammenstimmt, daß, wenn beide zusammen erklingen, man nur einen Ton zu hören glaubt. Darum nimmt man an, die Tonreihe fange mit diesem Tone wieder von Neuem an. Die Töne dieser Reihe heißen nach der Ordnung: Grundton, Secund, Terz, Quart, Quint, Sext, Septime, Octav. Heißt der Grundton C, so nennt man die Secund D, die Terz E, die Quart F, die Quint G, die Sext A, die Septime H und die Octave wieder c. Von c an aufwärts folgen wieder d, e, f, g ꝛc. Mit dem Grundtone läßt sich die Terz oder die Quint sehr angenehm, die Quart und die Sext noch erträglich hören, und man nennt diese Töne daher consonirende, die übrigen, nämlich die Secund und Septime mit dem Grundtone dissonirende.

326. Sowohl mittelst der Syrene als mit einem einsaitigen mit Resonanzboden versehenen Instrument (Monochord) kann man die den einzelnen Tonverhältnissen (Intervallen) entsprechenden Schwingungsverhältnisse ausmitteln. Eine besondere Einrichtung der Syrene, ein Räderwerk, in welches die Axe der beweglichen Scheibe eingreift, gestattet nämlich die von ihr in einer bestimmten Zeit vollbrachten Umdrehungen für jede Tonhöhe zu zählen. Kennt man nun noch die Anzahl der am Umfange dieser Scheibe und der Unterplatte befindlichen Oeffnungen, so weiß man, wie oft der Luft in einer Secunde der Ausgang aus dem Körper des Instrumentes gestattet und wieder verwehrt ist, mithin, wie viele Stöße in dieser Zeit auf die Luft ausgeübt werden. Auf ähnliche Weise gelangt man mittelst des Monochords zum Ziele. Die Anzahl n der Schwingungen einer Saite in einer Secunde wird nämlich durch $n = \frac{Q}{l}$ ausgedrückt, wo l die Saitenlänge, Q aber eine von der Dicke, Dichte und Spannung der Saite und von der Beschleunigung der Schwere abhängige Größe bedeutet. Sieht man den Ton, welchen die ganze Saite gibt, als Grund-

ton an, und ändert die Saitenlänge, bis man die Quint oder die Terz rc. vernimmt, substituirt jedesmal für l den betreffenden Werth, so erhält man für jeden Ton den Werth von n. So hat man folgende Werthe gefunden, wobei C der Ton ist, den eine beiderseits offene Orgelpfeife von 8 Pariser Fuß Länge gibt (das sogenannte große C)

Ton	C,	D,	E,	F,	G,	A,	H,	c,
Absolute Schwingungszahl	64,	72,	80,	85.3,	96,	106.7,	120,	128
Relative » » . . .	1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.

Bezeichnet man, wie es üblich ist, die unter C stehenden Töne mit $\underline{H}$, $\underline{A}$, $\underline{G}$ rc. $\underline{C}$, $\underline{\underline{H}}$, $\underline{\underline{A}}$ rc. $\underline{\underline{C}}$, so gehören obiger Tabelle gemäß dem Tone $\underline{C}$ (Contra-C) 32, dem Tone $\underline{\underline{C}}$ (dem tiefen C) 16 Schwingungen in der Secunde. Letzterer Ton heißt auch das 32füßige C, weil ihn eine beiderseits offene Orgelpfeife von 32 P. Fuß Länge gibt. Die über c (dem kleinen C) liegenden Töne werden mit d, e, f rc. $\bar{c}$, $\bar{d}$, $\bar{e}$, ... $\bar{\bar{c}}$ u. s. f. bezeichnet, und letztere eingestrichenes, zweigestrichenes C, D u. s. w. genannt. Obiger Tabelle nach entsprechen dem $\bar{a}$ (als dem Tone, welchen die aSaite einer Violine gibt) 426.7 Schwingungen in der Secunde. Diese Bestimmungen fordern große Vorsicht und Aufmerksamkeit. Will man sie mit einem Monochord vornehmen, so thut man gut, das von Fischer angegebene (Zeitsch. 1. 184) zu wählen. Nach dessen sorgfältigen Versuchen (Abhandl. der Berlin. Akademie der Wissensch. Berlin 1825) beträgt die Anzahl der Schwingungen für $\bar{a}$ nach der Stimmung der großen Oper zu Paris 431, nach dem Theater Feydeau 428, und nach dem italienischen Theater in Paris 424 Schwingungen; nach Scheibler's sehr genauen Messungen macht der Ton $\bar{a}$ in einer Secunde 443.56 Schwingungen. Pogg. Ann. 32. 333.) Der große Unterschied zwischen dem berechneten und nach Versuchen gefundenen Werthe liegt in der etwas willkürlichen Annahme des Grundtones. Der Umfang der für uns wahrnehmbaren Töne beträgt kaum 9 Octaven. Dem tiefsten Männertone entsprechen, wenn man dafür F annimmt, 86, dem höchsten ($\bar{a}$ als Brustton) 427 Schwingungen in der Secunde, welche beiden Extreme sich jedoch in der Regel nicht in einem Individuum vereinigt vorfinden; dem tiefsten Tone eines Frauenzimmers hingegen (g) 384 dem höchsten ($\bar{\bar{e}}$) 1280 Oscillationen. Sobald über 16,000 Schwingungen in einer Secunde gemacht werden, vernehmen wir keinen Ton mehr, sondern nur eine Art Zischen. Die längste Tonwelle in der Luft bei 16 Schwingungen in 1 Sec. hat, wenn die Geschwindigkeit des Schalles = 1024 P. Fuß angenommen wird, die Länge von 1024 : 16 = 64 P. Fuß, die kürzeste beträgt 9 Linien.

327. Die unmittelbar innerhalb einer Octave auf einander folgenden Intervalle sind nicht gleich groß; denn es gibt $\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9}$; $\frac{6}{5} : \frac{9}{8} = \frac{16}{15}$; $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$; $\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$; $\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9}$; $\frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8}$; $2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15}$. Das Intervall $\frac{9}{8}$, als das größte, heißt das eines großen ganzen Tones, das nächst folgende $\frac{10}{9}$ das eines kleinen ganzen Tones, das zunächst kleinere Intervall $\frac{16}{15}$ das eines großen halben Tones, und das kleinste $\frac{25}{24}$ das eines kleinen halben Tones. Das zwischen einem großen und kleinen ganzen Tone bestehende Intervall nämlich $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ wird

Comma genannt. Im Allgemeinen ist daher das Intervall zwischen der Terz und Quart und zwischen der Septime und Octave das eines halben Tones; alle anderen betragen einen ganzen Ton.

328. Daß die vorhin angegebene Tonleiter nicht alle Töne umfaßt, welche zwischen dem Grundtone C und seiner Octave c möglich sind, springt in die Augen; es reichen aber diese Töne auch nicht für die practische Musik hin, wie man leicht aus folgender Betrachtung entnehmen kann. Will man nicht C, sondern einen anderen Ton, z. B. G, zum Grundtone annehmen, und doch auf eine Art fortschreiten, die von den bezeichneten Intervallen, wenigstens nicht sehr stark, abweicht; so muß man zwischen F und G einen neuen Ton einschalten; denn es wird bei dieser Annahme E die Sext, F die Septime und g die Octave; E und F sind aber nach der angegebenen Tonleiter nur um einen halben Ton verschieden, und sollen es um einen ganzen seyn, während F und g um einen ganzen Ton von einander abstehen und es nur um einen halben sollen. Beiden Fehlern hilft man ab, wenn man F um einen halben Ton erhöht, das ist, seinen Werth mit $\frac{25}{24}$ multiplicirt. Dieselbe Erhöhung muß man mit mehreren anderen Tönen vornehmen, wenn man D, A, E, H 2c. als Grundton annimmt, während man Töne um einen halben Ton vertiefen, d. i. ihren Werth mit $\frac{24}{25}$ multipliciren muß, wenn man einen Ton zum Grundton annimmt, der in der Reihe der tieferen Quinten von C liegt, wie z. B. F. Man bezeichnet die Erhöhung eines Tones dadurch, daß man zu seinem Namen is, und die Vertiefung dadurch, daß man zu demselben es setzt. So bezeichnet cis, dis, fis das erhöhte c, d, f, und es, hes, ges das vertiefte e, h, g. Durch Einschaltung dieser Töne in die übrige Tonleiter hat man in jeder Octave 12 Töne erhalten, deren Werthe und Namen folgendes Verzeichniß gibt.

Name	Werth		Name	Werth.	
c	1	1.00000	ges	$\frac{36}{25}$	1.44000
cis	$\frac{25}{24}$	1.04166	g	$\frac{3}{2}$	1.50000
des	$\frac{27}{25}$	1.08000	gis	$\frac{25}{16}$	1.56250
d	$\frac{9}{8}$	1.12500	aes	$\frac{8}{5}$	1.60000
dis	$\frac{75}{64}$	1.17187	a	$\frac{5}{3}$	1.66667
es	$\frac{6}{5}$	1.20000	ais	$\frac{125}{72}$	1.73611
e	$\frac{5}{4}$	1.25000	hes	$\frac{9}{5}$	1.80000
lis	$\frac{125}{96}$	1.30208	h	$\frac{15}{8}$	1.87500
fes	$\frac{32}{25}$	1.28000	his	$\frac{125}{64}$	1.95313
f	$\frac{4}{3}$	1.33333	ces	$\frac{48}{25}$	1.92000
fis	$\frac{25}{18}$	1.38889	c	2	2.00000

Weil zwei Töne, wovon einer durch Erhöhung, der andere durch Vertiefung des nächst höheren entstanden ist, wie z. B. cis und des, fis und ges, sehr wenig von einander abweichen; so gibt man ihnen

in der Ausübung gewöhnlich nur einen Werth, und erhält dadurch in der ganzen Octave 12 Töne. Ihre Aufeinanderfolge macht die chromatische Tonleiter aus.

329. Wenn man auf irgend einem musikalischen Instrumente, das mehrere Octaven umfaßt, nach reinen Verhältnissen von einem Tone zum anderen fortschreitet, und auch die kleinsten Unterschiede, z. B. die zwischen cis und des nicht vernachläßiget; so entfernt man sich dabei doch immer mehr von dem reinen Verhältnisse zum Grundtone. Wollte man z. B. nach reinen Quinten von C aus aufwärts gehen, so wäre der Werth der ersten reinen Quinte $G = \frac{3}{2}$, jener der zweiten $d = \frac{9}{4}$, der dritten $a = \frac{27}{8}$. Da a zugleich die Octave von der Sext A ist, so müßte sich der letztere Ton durch $\frac{27}{16}$ ausdrücken lassen, und es müßte diese Zahl mit $\frac{5}{3}$ übereinkommen, wenn bei einem reinen Quintenverhältnisse auch das gegen den Grundton rein ausfallen soll. Es ist aber $\frac{27}{16} : \frac{5}{3} = \frac{81}{80}$, und man hat sich daher um diesen Bruch, d. h. um ein Comma, vom reinen Verhältnisse gegen C entfernt. Beim ferneren Fortschreiten nach reinen Quinten häuft sich dieser Fehler noch mehr an. Ist man durch 12 Quinten aufgestiegen, so kommt man auf die siebente Octave des Grundtones. Da die zwölfte Quinte den Werth $(\frac{3}{2})^{12}$, die siebente Octave den Werth 2^7 hat, so beträgt der ganze Fehler $(\frac{3}{2})^{12} - 2^7$. Weil nach dem Vorhergehenden nicht alle Octaven und Quinten zugleich rein seyn können, bei ersteren aber die geringste Abweichung vom reinen Verhältnisse dem Ohre unerträglich wäre; so vertheilt man obigen Fehler auf die Quinten, d. i. man temperirt sie, und zwar entweder alle gleich, oder nur diejenigen, welche seltener vorkommen. Jenes geschieht bei der gleichschwebenden, dieses bei der ungleichschwebenden Temperatur. Das Temperiren wird daher durch die Ungleichheit der Intervalle nothwendig gemacht, und es ist für jedes musikalische Instrument, es mag eine bestimmte oder unendliche Anzahl von Tönen haben, unerläßlich.

Den Werth n einer Quinte bei der gleichschwebenden Temperatur findet man aus $n^{12} = 2^7$, und man bekommt $n = 1.49831$, welches vom wahren Werthe um $\frac{3}{2} - 1.49831 = 0.00169$ verschieden ist.

D. Der Schall in Beziehung auf seine Stärke.

330. Die Intensität des Schalles hängt, abgesehen von der Empfindlichkeit des Gehörorganes, von der Größe des Stoßes ab, der auf dieses Organ ausgeübt wird, und von dem Zwischenraume, der einen Stoß vom anderen trennt. Daraus ergibt sich, daß die Stärke des Schalles durch die Beschaffenheit und Bewegung des schallenden Körpers, durch die Natur des fortpflanzenden Mittels und endlich auch noch durch die Lage des Hörenden gegen den schallenden Körper bestimmt wird.

331. Je mehr Theile des schallenden Körpers zugleich schwingen, je schneller sie dieses thun und je größere Excursionen sie machen, ferner, je weniger die Wirkungen der verschiedenen oscillirenden Theile

des schallenden Körpers auf das Schallmittel einander entgegengesetzt sind, desto größer wird der Unterschied zwischen der Dichte des verdichteten und verdünnten Theiles einer Schallwelle, mithin desto intensiver ihre Wirkung auf das Gehörorgan. Je vollkommener die Trennung der einzelnen Stöße des schallenden Körpers auf das Schallmittel ist, desto mehr Intensität erhält der Schall.

Deßhalb ist der Ton einer Metall- oder Glasplatte so stark, daß man ihn ohne Hilfsmittel weit hört (Glockengeläute), während der Ton einer Saite und einer Stimmgabel schon in kleiner Entfernung nicht mehr hörbar ist; darum verursachen lange Peitschen einen stärkeren Knall als kurze, deßhalb ist der Donner einer Kanone heftiger als der Knall einer Flinte; aus diesem Grunde sind hohe Töne und solche, die dicken Saiten entlockt werden, so ausgiebig; darum verstärkt bei Streichinstrumenten das Ausdrücken mit dem Bogen und das Streichen desselben mit Kolophonium den Ton so sehr. Die Zinken einer auf gewöhnliche Weise zum Tönen gebrachten Stimmgabel haben gleichzeitig fast einander entgegengesetzte Bewegungen, die sich auch der Luft mittheilen, und darum nur einen sehr schwachen Ton erzeugen. Bringt man an einer Zinke ein Papierschreibchen an, das beim Schwingen mit jener Fläche gegen die Luft schlägt, und macht die Masse der zweiten Zinke durch Wachs der ersten gleich, so wirkt eine Zinke viel stärker auf die Luft als die andere, und der Ton wird in der That viel stärker und heller. Dreht man ein mit vielen Speichen versehenes Rädchen um seine Axe, und läßt es dabei mit den Speichen an einen leichten Körper anstoßen, so wird der dadurch erregte Schall desto stärker, je weiter der stoßende Körper vom Mittelpunkte des Rades absteht, mithin je stärker die einzelnen Stöße und je schärfer sie von einander getrennt sind.

332. Je dichter das den Schall fortpflanzende Mittel ist, und je weniger es den Stößen des schallenden Körpers ausweicht (je geringer seine Expansivkraft im Vergleiche mit der Dichte ist), desto größer wird die Dichte des verdichteten, und desto kleiner die des verdünnten Wellentheiles, mithin desto intensiver wird der Schall. Je weniger das Mittel vermöge seiner Gestalt den Wellen erlaubt, sich zu erweitern und eine größere Masse in Bewegung zu setzen, desto leichter erhält es den Schall bei seiner ursprünglichen Stärke. Je seltener eine Schallwelle gezwungen wird, von einem Mittel in ein anderes überzugehen, desto mehr wird die bei jedem Wechsel des Mittels (321) Statt findende Theilung der Welle verhütet, und für die Erhaltung ihrer ursprünglichen Intensität gesorgt. Der Wind muß offenbar den Schall verstärken oder schwächen, je nachdem er mit oder gegen denselben geht.

Hieraus erklären sich: Die besondere Schwäche des Schalles im Wasserstoffgas, wie Leslie zeigte, und in verdünnter Luft, z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe oder auf hohen Bergen; warum eine angeschlagene Stimmgabel nicht lautet, wenn sie in eine Drehbank eingespannt und schnell umgedreht wird; warum man an kalten Tagen einen Schall weiter hört, als an warmen; warum man eine Uhr durch die Luft in mäßiger Entfernung nicht mehr, mittelst eines daran gehaltenen Stabes aber (wo die Schallwellen wie in einer cylindrischen Röhre sich fortpflanzen müssen, und sich nicht erweitern können) noch

recht gut hört; warum dieses ein Stab besser thut, als ein unförmlicher Kloß; warum man sich auf die Erde legen muß, um weit entferntes Geräusch zu hören; warum der Schall durch zwei Breter, die eine Luftschichte zwischen sich enthalten, mehr geschwächt wird, als durch ein einziges doppelt so dickes Bret; warum Wolle, Sägespäne und alle Körper, die viele mit Luft erfüllte Zwischenräume haben, den Schall so sehr schwächen; warum ein Laut bei Nacht, wo die Luft gleichförmiger erwärmt ist, als bei Tage, auch besser gehört wird rc.

333. Weil die Schallwellen in freier Luft immer größer werden, je weiter sie sich vom schallenden Körper entfernen; so muß die Bewegung der Theile, welche das Ohr treffen, in demselben Verhältnisse kleiner werden, und es müssen auch dieser Theile wenigere seyn. Darum nimmt der Schall in der Luft in dem Maße ab, in welchem das Quadrat der Entfernung des Hörenden vom schallenden Körper zunimmt. Wenn das Schallmittel vom schallenden Körper ringsum, gleichzeitig und auf dieselbe Weise afficirt wird, wie dieses z. B. bei einer explodirenden Knallgasblase der Fall ist, so wird der Schall in gleichen Entfernungen von diesem Körper ringsum gleich stark wahrgenommen; wird aber dieses Mittel an einigen Stellen stärker als an anderen afficirt, so muß es rings um den schallenden Körper selbst bei gleicher Entfernung von ihm Stellen geben, wo der Schall stärker erscheint als an anderen, ja an einigen Stellen kann derselbe ganz verschwinden.

Eine schwingende Saite erregt nach der Richtung ihrer Ausbeugung eine verdichtete, nach der entgegengesetzten gleichzeitig eine verdünnte Luftwelle, und geht man rings um die Saite herum, so kommt man von der Gegend, wo die verdichtete Welle gleichsam vorausgeht, in jene, wo dieses mit der verdünnten der Fall ist; an der Grenze beider kann demnach weder Verdünnung noch Verdichtung Statt finden, und daher wird dort das Ohr gar nicht afficirt werden. Bei Saiten sind diese Grenzstellen schwer zu finden (wiewohl an ihrer Existenz nicht gezweifelt werden kann), weil man Saiten überhaupt ohne Resonanzboden nicht weit genug hört, und das Mittönen eines Resonanzbodens eine Störung hervorbringt; bei einem Stabe, den man durch einen Schlag nach der Quere zum Tönen bringt, trifft man diese indifferenten Stellen leicht, wenn man um ihn herumgeht, oder noch besser, wenn man ihn vor dem Ohre um seine Axe dreht. Am besten gelingt dieser Versuch mit einer Stimmgabel, wo beide Zinken zur Erzeugung dieses Phänomens zusammenhelfen. Da tritt es auch so deutlich hervor, daß W. Weber sogar die vier Flächen rings um die Gabel, wo kein Tönen vernommen wird, näher bestimmen, und ihre hyperbolische Krümmung nachweisen konnte (Schweigg. J. 48. 385). Dreht man eine schwingende Stimmgabel vor der Mündung eines Cylinderglases von schicklicher Länge, damit die in demselben befindliche Luftsäule mitklinge, und dadurch das Tönen der Gabel verstärkt werde, so läßt sich die Abhängigkeit der Stärke des gegen diese Luftsäule hin fortgepflanzten Klanges von der Stellung der Flächen der Zinken gegen die Mündung des Glases leicht mehreren zugleich hörbar machen. Stellt man das Ende eines tönenden Stabes oder die Zinken einer Stimmgabel in Wasser, so werden die Bewegungen des Schallmittels gleichsam sichtbar. (Chladni in Kast. Arch. 7. 61.) Läßt man eine Röhre sich in zwei neben einander fortlaufende Arme theilen, vor

deren Mündungen man nach Belieben übereinstimmend oder entgegengesetzt schwingende Partien einer tönenden Platte halten kann, so zeigt eine über die Mündung am andern Ende des Rohres gespannte Membrane im ersten Falle, durch die Bewegung darauf gestreuten Sandes, daß die darunter befindliche Luftschichte in Schwingungen versetzt wurde, im zweiten Falle aber finden keine Schwingungen der Membrane Statt, weil die auf die darunter befindliche Luftschichte gleichzeitig übertragenen entgegengesetzten Bewegungen durch Interferenz einander aufheben.

Die größte bekannte Entfernung, auf welche sich der Schall durch die Luft verbreitet hat, beträgt 75 deutsche Meilen; denn so weit will man die lautesten Explosionen des Vulkans auf St. Vincenz gehört haben. Bei einer Belagerung von Genua hörte man Kanonenschüsse 22, bei Mannheim 21 deutsche Meilen weit; die russische Hörnermusik ist fast eine Meile weit hörbar. Einen Flintenschuß vernimmt man auf 8000 Schritte, das Marschiren einer Compagnie auf festem Boden, bei ruhiger Nacht, auf 1400—2000 F., einer Escadron Cavallerie im Schritte auf 1800 F., im Trapp oder Galopp auf 2600 F. Schweres Geschütz hört man im Schritte 1600 F., im Trappe 2400 F. weit fahren. Eine starke Männerstimme hört man in freier Luft bei gewöhnlicher Temperatur 800 F. weit; zu Port Bowen konnte ein Mann mit einem, 1/4 M. entfernten, noch leicht eine Unterredung führen. Perolle hörte das Tippen einer Uhr in der Luft noch bei 8 F., in Weingeist bei 12, in Terpentinöhl bei 14, in Olivenöhl bei 16, in Wasser bei 20 Fuß Entfernung.

334. Theorie und Erfahrung bestätigen es, daß ein Schall die Fortpflanzung eines anderen in demselben Mittel nicht hindere, und daß man eine große Anzahl von Tönen auf einmal wahrnehmen und einen vom anderen unterscheiden könne. Die Bewegung eines Theilchens des Mittels, durch welches sich mehrere Töne gleichzeitig fortpflanzen, ist die Resultirende der einzelnen Bewegungen, und kann nach den allgemeinen Gesetzen der Zusammensetzung der Bewegungen gefunden werden. Die auf dasselbe Theilchen gleichzeitig fallenden Verdichtungen oder Verdünnungen bewirken eine verstärkte Verdichtung oder Verdünnung und daher auch eine Verstärkung des Schalles; ein gleichzeitiges Zusammentreffen einer Verdichtung und einer Verdünnung vermindert die Stärke des Schalles, oder hebt ihn ganz auf. Pflanzen sich zwei nicht ganz gleichzeitige Schwingungen in der Luft oder in einem anderen Schallmittel in derselben Richtung zugleich fort, so müssen sie sich abwechselnd verstärken und schwächen, und dadurch jenes periodische Anschwellen und Nachlassen der Töne bewirken, welches man das Schweben derselben nennt. Folgen die Momente, wo die Töne am stärksten sind, d. h. die Schwebungen und Stöße schnell genug auf einander, so begründen sie das Entstehen eines dritten Tones, der tiefer ist, als jene zwei, aus deren Zusammentreffen er hervorgeht, und Combinationston genannt wird. Von dieser Art ist z. B. jener Ton, der aus dem gleichzeitigen Ertönen des Grundtones und seiner Terz hervorgeht, und der zweiten tieferen Octave gleich kommt. Da sich nämlich die Schwingungszahlen des Grundtones zur Terz wie 4 : 5 verhalten, so erfolgt nach

je vier Schwingungen des ersteren ein Stoß. (Hallström in Pogg. Ann. 24. 438. Weber, ebend. 28. 10. Scheibler, ebend. 32. 333.)

Die aus dem Zusammenklingen zweier an Höhe wenig verschiedenen Töne erfolgenden Stöße gestatten sehr wichtige Anwendungen. Sie können z. B. dazu gebraucht werden, zu finden, wie weit zwei Töne von einander an Höhe abstehen, und ob sie im Einklange sind oder nicht. Denn wird ein Ton dem anderen successiv genähert, so beginnen die Stöße, und verschwinden erst bei vollkommener Uebereinstimmung der Töne. Immer ist aber die Anzahl der Stöße in einer Secunde so groß als die Unterschiede ihrer Schwingungen, letztere in dem S. 208 angeführten Sinne genommen. Machen demnach zwei Töne in einer Secunde drei Stöße, so vollbringt der höhere derselben auch in einer Secunde um drei Schwingungen mehr als der andere.

335. Man kann durch Kunst einen Schall so modificiren, daß er sich ohne merkliche Abnahme sehr weit fortpflanzen läßt. Im Allgemeinen geschieht dieses dadurch, daß man die Schallwellen mittelst Röhren, die glatt genug sind, um nicht selbst in Schwingungen versetzt zu werden, oder durch Reibung einen Theil der bewegenden Kraft zu vernichten, abhält, sich zu erweitern und eine größere Masse in Bewegung zu setzen. Dieses bewirken: Das Communicationsrohr, das Sprachrohr und das Hörrohr. Das Communicationsrohr (Fig. 135) ist eine beliebig lange, cylindrische Röhre, in welcher die an einem Ende erregten Schallwellen so fortgehen, wie 315 gezeigt wurde, ohne sich zu erweitern und an Intensität zu verlieren. Deßhalb hört man am anderen Ende den Schall so gut, als wäre er zunächst am Ohre erregt worden. Das Sprachrohr (Fig. 136) ist eine conische Röhre, in welcher die Schallwellen, die man an der engeren Oeffnung erregt, so modificirt werden, daß sie selbst nach ihrem Austritte in großer Entfernung vom Rohre eine starke Intensität behalten. Nach Lambert thut eine Röhre, welche einen gemeinen, abgestumpften Kegel vorstellt, diese Dienste, wenn nur zwischen beiden Oeffnungen und der Länge ein rechtes Verhältniß herrscht; nach anderen verdient ein Kegel, dessen Wände eine logistische oder hyperbolische Krümmung haben, den Vorzug. Das Hörrohr (Fig. 137) ist eine trichterförmige, kurze, meistens gebogene Röhre, wodurch die in die weitere Oeffnung eindringende Schallwelle gleichsam verdichtet wird, so daß einer, der dieses Instrument vor das Ohr hält, den in einiger Entfernung erregten Schall so gut hört, als wäre er zunächst am Ohre hervorgebracht. (Siehe Lambert über einige akustische Instrumente. Berl., 1796.)

Außer der Höhe und Tiefe des Schalles, die seine Quantität ausmachen, sollte auch seine Qualität erörtert werden; allein darüber hat die Physik bis jetzt wenig Auskunft ertheilen können. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Qualität eines Tones von dem Gesetze abhängt, an welches die Geschwindigkeit eines schwingenden Körpers während einer Schwingung gebunden ist. Wahrscheinlich liegt es in der Einfachheit und Complication dieses Gesetzes, ob ein Schall ein bloßes Geräusch oder ein Klang ist, die verschiedenen Charaktere des Schalles, welche man

mit den Worten: Brausen, sausen, knarren, zischen, klatschen, poltern, rasseln, rauschen, rollen 2c. 2c bezeichnet, deuten wohl nur auf verschiedene, aber complicirte und durch das Zusammentreffen mehrerer ungleichartigen Schalle verworrene Gesetze dieser Geschwindigkeiten hin.

E. Schwingungen selbsttönender Körper.

336. Wenn ein elastischer Körper an einer Stelle einen Stoß, Schlag 2c. erhält; so entsteht daselbst eine Welle, die bis zu den Grenzen dieses Körpers fortschreitet, daselbst aber reflectirt wird. Wiederholt sich der Stoß schnell hinter einander, so begegnen die reflectirten Wellen den directen, sie durchschneiden sich, und erzeugen so wie die Wasserwellen (304) stehende Schwingungen. In diesen Schwingungen besteht nun das Selbsttönen der Körper. Sie unterscheiden sich von den Schwingungen, wodurch der Schall fortgepflanzt wird, in Folgendem: 1) Die Wellen, wodurch der Schall fortgepflanzt wird, schreiten selbst fort; diejenigen hingegen, wodurch der Schall erzeugt wird, bleiben an einer Stelle, und es verwandelt sich immer nur die Verdichtung in eine Verdünnung, die Excursion nach einer Seite, in eine nach der entgegengesetzten Seite. 2) Bei jenen Wellen haben die schwingenden Theile bei der größten Geschwindigkeit die größte Abweichung von der natürlichen Dichte, und es ist die Geschwindigkeit dieser Abweichung proportionirt; bei diesen ist die größte Geschwindigkeit den Theilen eigen, welche sich in ihrer natürlichen Lage befinden, bei der größten Abweichung von der natürlichen Lage hingegen ist die Geschwindigkeit am kleinsten (=0). Daraus folgt wieder, 3) daß eine schallerzeugende Welle fortdauert und sich öfters wiederholt, wenn auch die erregende Ursache schon zu wirken aufgehört hat, jede fortpflanzende hingegen durch eine eigene Schwingung von jener Art hervorgebracht werden muß. Es klingt z. B. eine angeschlagene Saite noch lange nach dem Schlage, sobald sie aber gedämpft wird, hört die fortschreitende Schwingung augenblicklich auf.

337. Jeder elastische Körper kann schallen; damit aber ein Körper selbst tönen könne, muß er den hierzu nöthigen Grad von Elasticität und eine passende Gestalt haben. Zum Tönen gehört nämlich eine Reihe gleichzeitiger, periodisch wiederkehrenden schnellen Stöße. In einem nicht vollkommen elastischen Körper haben die reflectirten Wellen, selbst wenn sich der Körper im leeren Raume befindet, eine geringere Intensität als die directen, und die Bewegung ist nach wenigen Reflexionen geendet; in einem materiellen Mittel muß dieses um so eher der Fall seyn, weil jede an den Grenzen des Körpers angelangte Welle einen Theil ihrer bewegenden Kraft an das Schallmittel abtritt. Darum tönt eine Bleimasse nicht, sie mag wie immer gestaltet seyn. Ist der Körper unregelmäßig geformt, so treffen an jedem Punkte im Innern desselben unzählige Wellen von allen möglichen Richtungen und von allen Graden der Verdichtung und Verdünnung zusammen und heben sich schnell auf. Darum tönt ein Glasklumpen nicht, wohl aber eine Glasplatte. Die Gestalt eines tönenden Kör-

pers muß so beschaffen seyn, daß die Stellen, wo sich die Mitten einer reflectirten und einer directen Welle schneiden, und die sogenannten Knotenlinien bilden, den ganzen Körper in Theile abtheilen, die unter einander und zum Ganzen in einfachen Verhältnissen stehen. Es kommt aber auch auf die Art, Stärke und Richtung des Stoßes an, der den Körper zum Tönen bringen soll. Dieser muß immer so beschaffen seyn, daß die Länge der ursprünglich erregten, fortschreitenden Welle ein aliquoter Theil der ganzen Dimension ist, nach welcher der Stoß gerichtet war. Wenn mehrere Stöße hinter einander angebracht werden, so ist es genug, wenn nur einige derselben von der erwähnten Beschaffenheit sind, weil die schon gebildeten stehenden Wellen bald die übrigen Stöße gehörig reguliren, wie dieses beim Streichen mit einem Violinbogen der Fall ist. Da diesen Bedingungen verschiedene Wellen entsprechen, so wird ein tönender Körper auch mehrere Abtheilungen annehmen können, und bei jeder derselben anders tönen; denn der Ton richtet sich bloß nach der Größe und Gestalt der schwingenden Theile. Es werden auch sogar mehrere Eintheilungsarten zugleich an einem Körper vorhanden seyn können. Der Stoß muß auch nach einer Hauptdimension (Länge oder Breite des Körpers) gerichtet seyn, wenn obige Bedingung für die Abtheilung des schallenden Körpers eintreten soll. Darum wird es für tönende Körper fast immer nur Längen- und Querschwingungen (Longitudinal- und Transversalschwingungen) geben; bei runden Körpern gibt es eben darum auch drehende Schwingungen. Am häufigsten werden feste und gasförmige Körper zum Selbsttönen gebracht, doch hat man in der neuesten Zeit auch tropfbare in selbsttönende Schwingungen zu versetzen gelernt. Die gewöhnlichsten selbsttönenden Körper sind: Die Luft, Saiten, gespannte Membranen, Stäbe, sowohl gerade als gekrümmte, wie Gabeln, Ringe, endlich Platten, ebene und krumme, wie Glocken, Gefäße 2c.

338. Die Luft dient in allen Blasinstrumenten als tönender Körper; den diese Instrumente geben so lange denselben Ton, als die darin enthaltene Luftsäule dieselben Dimensionen und dieselbe Temperatur hat, sie mögen aus was immer für einem Materiale bestehen. Daß die Bewegung der Luft auf die Wände wirken und von diesen wieder eine Rückwirkung auf die Luft erfolgen muß, und daß diese Rückwirkung von der Natur und Dicke der Wände abhängen kann, ist für sich klar; doch wird dadurch nur die Qualität und Stärke des Tones modificirt, und dieser Umstand kann durchaus nicht als Beweis angesehen werden, daß die Wände den tönenden Körper abgeben. (Pellisov in Schweigg. J. 67. 169, 227; 69. 289.) Die Schwingungen der Luft sind Längenschwingungen. Sie werden erregt, indem man 1) die eingeschlossene Luftsäule an einem Ende durch Hineinblasen verdichtet, wie dieses bei Waldhörnern, Trompeten 2c. geschieht. 2) Einen schmalen Luftstrom vorbeistreichen läßt. Dieses thut man in jenen Orgelpfeifen, die man Flötenwerke nennt, auch beim Hineinblasen in einen Schlüssel, in eine Flöte 2c. 3) Durch einen

Luftstrom, den man durch eine Spalte bläst, ein elastisches Plättchen in Schwingungen versetzt, das nun die Oeffnung abwechselnd herstellt und schließt, und so regelmäßig auf einander folgende Stöße auf die Luft in der Pfeife ausübet. Dieses ist bei den Rohrwerkpfeifen der Orgeln und bei den Blasinstrumenten, welche Mundstücke haben, der Fall. Durch eine solche Reihe regelmäßig auf einander folgender Stöße wird auch der Ton in der sogenannten chemischen Harmonica und im Trevelyan'schen Instrument (einem erhitzten und mit geringer Stabilität auf einem kalten Bleiklotz liegenden Metallstücke, Fig. 138) erregt. In ersterer werden nämlich die Stöße durch die schnell auf einander folgenden Verpuffungen, welche das Verbrennen des Wasserstoffgases begleiten, erzeugt, im letzteren hingegen durch die schnellen Schwankungen des Metallstückes, welche die aus der Erwärmung des Bleies und der Abkühlung des Metallstückes hervorgehenden Ausdehnungen und Zusammenziehungen verursachen (Zeitsch. n. F. 3. 79). 4) Indem man einen schon schwingenden Körper auf die Luft wirken läßt. So wird eine Orgelpfeife zum Ansprechen gebracht, wenn man eine schwingende Stimmgabel, die nahe den Ton der Pfeife gibt, vor ihre Mündung hält. Durch diese Arten, schallende Luftschwingungen zu erregen, wird unmittelbar nur eine Welle erzeugt, deren Länge einen bestimmten, aliquoten Theil der Pfeifenlänge beträgt, und die vom Ende, wo sie erregt wurde, bis zum entgegengesetzten fortschreitet, an diesem aber reflectirt wird. Der Erfolg dieser Reflexion ist verschieden, je nachdem die Röhre offen oder gedeckt ist. Im ersteren Falle wird durch die Reflexion der verdünnte Theil der Welle in einen verdichteten und umgekehrt verwandelt, im zweiten behält jeder Theil nach der Reflexion seinen Charakter bei. Die Ursache der Umkehrung der Ordnung im ersteren Falle liegt darin, daß die verdichteten Lufttheile an der Oeffnung leichter ausweichen können, als innerhalb derselben, weil ihnen dieses nach allen Seiten gestattet ist, während die in der Röhre befindlichen nur vorwärts gehen können.

Die Einrichtung einer Flöten-Orgelpfeife ist aus Fig. 139 a und b zu ersehen; a stellt eine solche perspectivisch, b im Längendurchschnitte vor. Sie besteht aus zwei Theilen, nämlich aus dem conischen unteren Theile A B C, dem Stiefel oder Windrohre, der unten offen, oben mittelst einer Querplatte B C bis auf eine enge Spalte in der Nähe des etwas hineingebogenen Randes (der Lefze) geschlossen ist, und aus der eigentlichen Pfeife B C D E, deren unterer, in der Nähe von B befindlicher Rand auch ein wenig eingebogen ist, und ebenfalls eine Lefze bildet; zwischen den beiden Lefzen ist ein Einschnitt. Die Luft wird durch A in den Stiefel geblasen, bricht sich in B, dringt durch die viereckige Oeffnung heraus, und erregt so in der Pfeife Schwingungen. Eine Rohrwerk- oder Zungen-Orgelpfeife (Fig. 140) besteht, wie die vorhergehende, aus einem Fuße A B C, durch welchen die Luft eingeblasen wird, und über welchem die eigentliche Pfeife ruht, die durch einen Stöpsel vom Fuße getrennt ist. Die Communication zwischen beiden ist aber nicht bloß, wie bei einer Flötenwerkspfeife, durch eine einfache feine Spalte hergestellt, sondern durch eine hölzerne Rinne a b, welche durch den Stöpsel geht, und im Fuße mit

einem elastischen Metallplättchen (Zunge) geschlossen ist, daß die Rinne mehr oder weniger schließt, je nachdem man die Krücke c weiter hinabdrückt oder hinaufzieht. Die sogenannten Mundstücke mancher Blasinstrumente sind wie eine solche Pfeife eingerichtet. An einigen wird das Plättchen selbst in den Mund genommen, wie bei den Clarinetten, und diese verdienen im eigentlichen Sinne Mundstücke genannt zu werden.

339. Die Tonhöhe eines Blasinstrumentes richtet sich im Allgemeinen nach den Dimensionen der schwingenden Luftsäule und nach dem Verhältnisse der Expansivkraft der Luft zu ihrer Dichte; in vielen Fällen hat auch die Gestalt dieser Säule, die Größe und Lage des Mundloches, die Beschaffenheit der Wände und die Art des Anblasens darauf Einfluß.

340. In Flötenwerkpfeifen und in Blasinstrumenten, welche diesen ähnlich sind und feste Wände haben, hängt die Tonhöhe bloß von der Länge der schwingenden Luftsäule ab, und ist ihr verkehrt proportionirt, vorausgesetzt, daß die Längendimension einer solchen Pfeife ihre Breite mehr als sechsmal übertrifft, und die Erschütterung an der ganzen Mündung erfolgt. Die Art des Anblasens, und der Umstand, ob die Pfeife gerade oder gekrümmt ist, hat darauf keinen Einfluß. Nach außen divergirende Pfeifen geben einen etwas höheren, convergirende einen etwas tieferen Ton, als solche, welche parallele Wände haben. Es lassen sich mit einer solchen Pfeife mehrere Töne hervorbringen, weil sich die Luft in verschiedene, durch Schwingungsknoten von einander getrennte Theile theilen kann. Die Folge der Tonverhältnisse einer solchen Pfeife ist verschieden, je nachdem die Pfeife beiderseits offen oder auf einer Seite geschlossen (gedeckt) ist. In einer ganz offenen Pfeife theilt sich die Luft bei der einfachsten Schwingungsart in zwei auf dieselbe Weise aber nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Hälften so, daß in der Mitte ein Schwingungsknoten Statt findet, an welchen sich die Lufttheilchen während der Verdichtung von beiden Seiten mit gleicher Kraft anstemmen (Fig. 141), und da gibt sie auch den tiefsten Ton, dessen sie fähig ist. Diese Schwingungsart entsteht, wenn an dem einen Ende der Pfeife eine Reihe auf einander folgender Wellen erregt wird, deren jede doppelt so lang ist als die Pfeife. Würde eine Welle an jedem Ende der Luftsäule ungeschwächt reflectirt, so wäre dazu eine einzige Welle von genannter Länge hinreichend. Den Hergang des Zusammenwirkens der fortschreitenden Theile der Welle zur Bildung der stehenden Schwingung der Luft, worin das Tönen der Pfeife besteht, stellt Fig. 142 vor, worin die Krümmungen aufwärts Verdichtungen, die Krümmungen abwärts Verdünnungen der Luft bedeuten, und die Pfeile die Richtungen der den Verdichtungen oder Verdünnungen proportionirten Geschwindigkeiten der Lufttheilchen anzeigen. Die Richtung des Fortschreitens der Welle stimmt im verdichteten Theile mit den Richtungen der Geschwindigkeiten der oscillirenden Lufttheilchen überein, im verdünnten ist sie diesen entgegengesetzt. Bei der Reflexion an den Enden der Röhre geht ein verdichteter Wellentheil in einen verdünnten

und umgekehrt über. In der Mitte der Röhre haben die Lufttheilchen stets gleiche und entgegengesetzte Geschwindigkeiten, und bleiben daher in Ruhe, nur wechselt daselbst Verdichtung mit Verdünnung ab, da hier bald zwei verdichtete bald zwei verdünnte Wellentheile zusammen wirken. Bei der zweiten Art (Fig. 143) entstehen zwei Knoten, deren jeder um $^1/_4$ der ganzen Länge von einem Ende entfernt ist, und der Ton ist um eine Octave höher, als der erstere. Diese Schwingungsart wird hervorgebracht, wenn die Länge der in die Pfeife eintretenden Wellen jener der Pfeife gleichkommt. Ihre Entstehung zeigt Fig. 144. Bei der dritten Schwingungsart, welche entsteht, wenn die Länge der in der Pfeife erregten Wellen $^2/_3$ der Länge der Pfeife ausmacht, sind drei Knoten, wovon einer in der Mitte liegt, während jeder der zwei anderen um $^1/_6$ der ganzen Pfeifenlänge von einem Ende entfernt ist, und der Ton ist um eine Quinte höher, als der vorige u. s. w. Ist n die Anzahl der Schwingungen binnen einer Secunde bei der ersten Schwingungsart, l die Länge der Pfeife, v die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft, so besteht, weil die Länge einer Welle der Weg ist, den der Schall binnen einer Schwingung in der Luft zurücklegt, die Gleichung $2nl = v$, welche $n = \frac{v}{2l}$ und $l = \frac{v}{2n}$ gibt. Wird die hiebei stattfindende Tonhöhe als Einheit betrachtet, so drücken die natürlichen Zahlen 2, 3, 4 &c. die Töne aus, welche der zweiten, dritten, vierten Schwingungsart &c. entsprechen. Es gestattet daher jedes Instrument, welches aus einem beiderseits offenen Rohre ohne Seitenlöcher besteht, nur eine gewisse Folge von Tönen, die desto näher an einander liegen, je weiter sie vom tiefsten Tone, den die Pfeife geben kann, abstehen, und man begreift leicht, warum man verschiedene Aufsätze (Waldhorn, Trompeten) braucht, oder warum die Pfeife einer Verlängerung oder Verkürzung fähig seyn muß (Posaune), um alle Töne der chromatischen Tonleiter hervorbringen zu können. In einer gedeckten Pfeife bewegt sich die Luft bei der einfachsten Schwingungsart abwechselnd gegen das gedeckte Ende zu und wieder von da zurück, und gibt so den tiefsten Ton (Fig. 145). Diese Schwingungsart entsteht, wenn die Länge der in der Pfeife erregten Wellen $^1/_4$ der Länge der Pfeife beträgt. Die Hervorbringung der stehenden Schwingung der Luft zeigt Fig. 146. Bei der Reflexion am geschlossenen Ende der Röhre erzeugt ein verdichteter oder verdünnter Wellentheil einen gleichartigen, am offenen Ende dagegen einen von entgegengesetzter Beschaffenheit. Bei der zweiten Schwingungsart entsteht ein Schwingungsknoten, der um $^1/_3$ der Pfeifenlänge vom offenen Ende entfernt ist, und der Ton ist um eine Octave und eine Quinte höher als im vorigen Falle (Fig. 147). Die Entstehung dieser Schwingungsart zeigt Fig. 148. Ueberhaupt nehmen mit wachsender Anzahl der Schwingungsknoten die Schwingungszahlen zu wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 &c. In Instrumenten mit Seitenlöchern (Flöte) wird die Länge der schwingen-

genden Luftsäule durch das Oeffnen oder Schließen dieser Löcher modificirt und so der Ton erhöht oder erniedriget. — Vergleicht man den Ton, welchen eine offene prismatische oder cylindrische Pfeife bei der einfachsten Schwingungsart gibt, mit dem einer gleich langen gedeckten Pfeife, in der ebenfalls die einfachste Schwingungsart Statt hat; so findet man jenen um eine Octave höher als diesen. Der Ton einer nur zum Theile gedeckten Pfeife ist höher als der einer gleich langen ganz gedeckten und tiefer als der einer ganz offenen. Hieraus erklärt sich der Kunstgriff der Waldhornisten, mit der Hand am Trichter des Instrumentes den Ton etwas zu ändern, und das Stimmen einer Orgelpfeife durch Neigung einer bleiernen, auf ein Ende aufgesetzten Platte. Kegelförmige oder pyramidale, offene Pfeifen geben, wenn man sie an der engeren Seite anbläst, wohl auch einen höheren Ton, als einerseits geschlossene von denselben Dimensionen; jedoch hängt es von dem Neigungswinkel der Seitenflächen ab, um wie viel der Ton in ersteren höher ist als in letzteren. Je größer dieser Winkel ist, desto mehr Intervalle liegen zwischen dem Grundtone einer offenen und dem einer geschlossenen Pfeife. In der Regel betragen sie mehr als eine Octave, können aber auch drei und mehr Octaven betragen.

Die Lage der Schwingungsknoten und der stärksten Bewegung der Lufttheile in einer tönenden, weiten Pfeife kann man nach Savart dadurch finden, daß man die Röhre vertical stellt, in sie, während sie tönt, ein dünnes, über einen Ring gespanntes, wie eine Wagschale an Fäden hängendes, mit feinem Sande bestreutes Häutchen immer mehr und mehr hineinsenket, und dabei stets die Bewegung des Sandes beobachtet, die an der Stelle der Schwingungsknoten völlig aufhört, an den Stellen der stärksten Vibration aber am heftigsten ist. Die Methode, den Ort eines Knotens einer offenen Pfeife dadurch zu bestimmen, daß man einen Kolben so weit in dieselbe hineinschiebt, bis die nun als gedeckt anzusehende Pfeife wieder denselben Ton von sich gibt, wie bei der einfachsten Schwingungsweise im offenen Zustande, und die Länge des eingeschobenen Kolbenstückes für die Länge der schwingenden Luftsäule anzusehen, ist, Dulong's Versuchen (Zeitsch. 6. 474.) gemäß, unsicher; doch kann man durch dieses Mittel das Verhältniß der Schwingungszahlen gleicher Säulen verschiedener Gase richtig finden, weil bei allen Gasen die Knotenfläche auf dieselbe Stelle fällt.

341. Der Ton einer Pfeife ist bei übrigens gleichen Umständen desto höher, je größer die Ausdehnsamkeit der Luft im Vergleiche gegen ihre Dichte ist. Deßhalb gibt eine Pfeife, die mit Wasserstoffgas anspricht, einen höheren Ton als eine mit atmosphärischer Luft, und eben deßhalb ist der Ton einer Pfeife in warmer Luft höher als in kalter; darum erhöht sich der Ton während des Anblasens mit dem Munde. Auf hohen Bergen gibt eine Pfeife keinen tieferen oder höheren Ton als bei gleicher Temperatur an der Meeresfläche.

Die Tonhöhe in Pfeifen von gleichen Dimensionen, die in verschiedenen Luftarten ansprechen, hat man zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in diesen Luftarten benützt, indem man von diesen Tonhöhen auf die Anzahl n der Schwingungen während einer Secunde

schloß, die in einer gegebenen Zeit geschehen, und aus dieser und der gegebenen Pfeifenlänge l, nach der oben angeführten Formel $v = 2nl$, den von der Welle binnen einer Secunde zurückgelegten Weg v berechnete. So fand man die in 319 angegebenen Werthe für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasarten. Ueber die Anwendung der Verschiedenheit des Tones einer Pfeife bei verschiedenen Temperaturen zu pyrometrischen Bestimmungen (akustisches Pyrometer) s. Pogg. Ann. 39. 580.

342. Der Ton einer Pfeife, deren Durchmesser mehr als $1/_6$ ihrer Länge beträgt, und einer solchen, wo die Luftmasse an der Mündung nur zum Theil erschüttert ist, hängt von der Art des Anblasens und von der Größe und Lage des Mundloches ab. Man kann bloß durch Modification des Luftstromes alle Töne innerhalb $1^1/_2$ — 2 Octaven hervorbringen. Dieses zeigt sich besonders an jenem kleinen Instrumente, womit die Jäger die Stimmen verschiedener Thiere nachahmen, welches aus einer 8—9 L. weiten, 4 L. hohen, hölzernen oder beinernen Röhre besteht, die an beiden Enden mit ebenen Platten geschlossen, in der Mitte mit einem kleinen Loche versehen ist. Dieses Instrumentchen wird zwischen die Lippen genommen und gibt sehr verschiedene Töne, je nachdem man stärker oder schwächer bläst. Man kann seine Größe und Gestalt auf vielfache Weise abändern, ohne eine andere Modification in der Wirkung des Instrumentes hervorzubringen, als die, daß sich bei einem größeren Volum desselben tiefe Töne leichter hervorbringen lassen, als höhere. Im Allgemeinen ist der tiefste Ton desto tiefer, je weiter die Oeffnung ist. Auf den Ton kurzer und weiter Pfeifen hat auch die Beschaffenheit der Wände einen sehr großen Einfluß. Sind diese einer verschiedenen Spannung fähig, so wird der Ton desto tiefer, je geringer diese Spannung ist. Demnach müssen kurze und zugleich weite, kegelförmige oder pyramidale Pfeifen mit veränderlichem Neigungswinkel und mit elastischen Wänden den größten Tonumfang haben.

343. Eine Zungenpfeife ist ein aus zwei schwingenden Körpern, der Luftsäule und der elastischen Platte, bestehendes Instrument; seine Tonhöhe muß demnach auch durch die Schwingungen dieser beiden Bestandtheile bestimmt werden, die durch ihre Verbindung von einander abhängig geworden sind und sich gegenseitig dahin abändern, daß sie gleichzeitig schwingen. Die Tonhöhe einer solchen Pfeife hängt demnach von der Elasticität und den Dimensionen des Plättchens und von der Länge der schwingenden Luftsäule ab. Ein voller und starker Ton einer solchen Pfeife wird bloß von den auf das Plättchen wirkenden Luftstößen hervorgebracht, und seine Höhe wird fast ganz allein durch die Schwingungen des Plättchens bestimmt; denn diese Höhe ändert sich nur sehr wenig, wenn man die schwingende Luftsäule ganz wegnimmt, wie dieses bei der sogenannten Physharmonica der Fall ist. Setzt man an das Mundstück eine offene Röhre an, deren Luftsäule mit dem Plättchen im Einklange tönt, und deren Länge = a ist, so wird dadurch der Ton um eine Octave tiefer. Nimmt man die Luftsäule anfangs kürzer als $1/_4$a und läßt sie allmählich bis a

wachsen; so ändert sich die Tonhöhe in der ersten Hälfte der Verlängerung nur sehr wenig, in der zweiten aber bedeutend, im Ganzen um eine Octave. Hiermit ist aber auch gewöhnlich die Tonreihe, welche man durch allmähliches Verlängern der Luftsäule hervorbringen kann, geschlossen. Geht diese Verlängerung über die angegebene Grenze hinaus, so springt der Ton plötzlich wieder auf den ersten zurück, und dieser wird nur durch abermaliges Verlängern der Luftsäule tiefer. Wird die Luftsäule von a auf 2 a, 3 a rc. verlängert, so sinkt der Ton um eine Quart, um eine kleine Terz u. s. f. Es machen demnach die Zunge und die Luftsäule immer nur ein schwingendes System aus. (Weber in Pogg. Ann. 14. 397; 16. 193; 16. 415.)

344. In die Klasse derjenigen Instrumente, in denen die Luft als schallender Körper wirkt, gehören auch die Stimmorgane der Thiere nnd Menschen. Das Stimmorgan des Menschen besteht aus dem Kehlkopfe, dem Schlunde und dem Munde. Die Lunge dient als Blasbalg, die Luftröhre als Windrohr. Der Kehlkopf ist eine aus Knorpeln und Häuten gebildete Erweiterung des oberen Theiles der Luftröhre, über deren oberer Mündung zwei, einem Kreisabschnitte ähnliche Häute, die Stimmbänder, so angebracht sind, daß sie die Luftröhre bis auf eine schmale Spalte, die Stimmritze schließen können. Diese Bänder können gespannt und nachgelassen werden, so daß sich die Stimmritze verengen und erweitern kann. Geht die Luft aus den Lungen ohne Gewalt durch die weit offene Stimmritze, so erfolgt kein Laut; wird aber aus den Lungen die Luft mit Gewalt ausgestoßen, so entsteht wohl ein Schall, aber kein Ton; das Husten erfolgt auf diese Weise. Wird aber die Stimmritze verengt und die Luft mit Gewalt durch sie getrieben, so erscheint erst der gehörige Ton. Die Luft schwingt im Stimmorgane, wie in einer conischen Zungenpfeife; doch gibt eine solche nur dann einen der menschlichen Stimme ähnlichen Laut, wenn die Zunge beim Schwingen nicht auf den Rand der Rinne, welche sie abwechselnd öffnet und schließt, schlägt, sondern ohne anzustoßen ein- und auswärts oscilliren kann. (Willis in Pogg. Ann. 24. 397.) Ungeachtet des geringen Rauminhaltes ist doch das Stimmorgan vieler Töne fähig, weil sein unterer Theil elastische Wände hat, die eine verschiedene Spannung annehmen können, weil durch größeres oder geringeres Oeffnen des Mundes die Dimensionen der Luftsäule bedeutend abgeändert werden können; endlich weil sich der Stimmapparat mittelst der Lippen bald schließen bald öffnen läßt, und er daher bald wie eine offene bald wie eine geschlossene Pfeife wirkt. Die Wölbung des Schlundes und des Mundes, die verschiedene Biegung der Zunge, und vorzüglich zwei am oberen Theile des Kehlkopfes frei in der schwingenden Luft hängende Häutchen bewirken die verschiedene Articulation der menschlichen Stimme. Unter den Thieren haben nur Vögel, Säugthiere und Amphibien eigentliche Stimmorgane. Die Vögel haben den Kehlkopf am unteren Theile der Luftröhre, einige derselben haben auch die hängenden Membranen, die man im menschlichen Stimmorgane findet; das

Stimmorgan einiger Thiere besteht nur aus einer paukenähnlichen Vorrichtung. (Savart in Zeitsch. 1. 12.)

345. Die Instrumente, in welchen die Luft der tönende Körper ist, haben das Eigene, daß sie nicht wie Saiteninstrumente nachklingen, sondern zu tönen aufhören, sobald die den Schall erregende Ursache aufhört zu wirken. Die Ursache liegt darin, daß die am offenen oder gedeckten Ende der Pfeife zurückgeworfene Welle stets schwächer ist, als die auffallende, von der sie abhängt, daher sie nach wenigen Reflexionen nicht mehr die zur Wahrnehmung eines Schalles nöthige Intensität hat.

Die tönenden Schwingungen tropfbarer Flüssigkeiten sind noch nicht so weit untersucht, daß sie einen selbstständigen Theil der Akustik abgeben könnten. Die dabei stattfindende Bewegung der Molekel scheint in einer Ausdehnung und Zusammenziehung zu bestehen, welche eine Störung der Continuität der Masse und eine Vergrößerung der Poren derselben hervorbringen. Man erregt sie durch Reibung einer einerseits geschlossenen, Wasser oder eine andere tropfbare Flüssigkeit enthaltenden Röhre. Eine Wassersäule von 1 M. Höhe gibt einen Ton, welchem 790 Schwingungen in 1 Sec. entsprechen, doch ändert sich diese Schwingungszahl unter besonderen Verhältnissen, wie z. B. mit dem Durchmesser und der Länge der Glasröhre. Eine heberförmig gebogene gleichschenklige Röhre kann selbst beiderseits offen seyn, und die darin enthaltene Wassersäule wird doch durch Reiben in tönende Schwingungen versetzt, was bei einer geraden, beiderseits offenen bisher nicht gelingen wollte. Ist die Wassersäule im Heber gerade so lang wie die in der einerseits geschlossenen Röhre, so ist ihr Ton um 1 Octave höher als jener der letzteren. Verschiedene Flüssigkeiten geben bei gleicher Länge der Säulen verschiedene Töne, es richtet sich aber die Tonhöhe nicht nach der Dichte der Flüssigkeiten. Eine 20 Z. hohe Wassersäule macht in der Sec. 1478, eine eben so hohe Alkoholsäule von 36° B. 1400, eine Säule von Salzsäure 1272, eine von Schwefelsäure (60° B.) 1280, von einer Chlorcalciumlösung (13° B.) 1488, und von Quecksilber 640 Schwingungen.

346. Eine **Saite** kann **transversal** und **longitudinal** schwingen. **Querschwingungen** einer Saite werden hervorgebracht, wenn man einen Geigebogen rechtwinkelig auf die Saite aufsetzt und sie damit streicht. Ihr Ton ist desto höher, je kürzer, dünner und je weniger dicht sie ist, und je mehr sie gespannt worden. Sie schwingt dabei entweder der ganzen Länge nach, und nimmt dann bei der größten Excursion die Gestalt a und b an (Fig. 149), wo c d die ruhende Saite vorstellt, oder sie schwingt mit Schwingungsknoten. Mit einem Schwingungsknoten schwingt sie so wie Fig. 150 AFDfB, mit zweien so, wie Fig. 151 zeigt. Man kann eine solche Unterabtheilung einer Saite leicht hervorbringen, wenn man sie z. B. im vierten Theile ihrer Länge mit einem Finger sanft berührt, und den kürzeren Theil mit dem Bogen streicht. Man hört da nicht den Hauptton der Saite, sondern ihre zweite Octave, zum Beweise, daß jeder vierte Theil der Saite allein seine Schwingungen gemacht habe. Setzt man auf verschiedene Punkte der Saite, mitunter auch auf die, welche sie in vier gleiche Theile abtheilen, kleine Papierstreifen wie Reiter,

und verfährt wie vorhin; so bleiben die auf die Viertheilungspunkte aufgesetzten allein sitzen, und die übrigen springen herab. Spannt man zwei gleich dicke Saiten neben einander, wovon die Länge der einen ein Vielfaches von der Länge der anderen ist; so darf man nur die kürzere Saite mit einem Bogen streichen, um bei der anderen eine solche Abtheilung zu bewirken, daß sie mit der kürzesten im Einklange tönt, und mittelst papierner Reiter kann man die Knoten wieder sichtbar machen. Solche Abtheilungen bewirkt man, wenn man eine Saite nahe an einem ihrer Befestigungspunkte sehr leise mit dem Bogen streicht, oder während eines leichten Striches am gehörigen Platze einen Finger leicht aufsetzt, wie man dieses beim Hervorrufen der Flageolettöne thut. Die Abtheilung einer Saite in mehrere durch Schwingungsknoten getrennte schwingende Theile ist eine Folge des Zusammenwirkens directer und an den Befestigungspunkten reflectirter Wellen zur Bildung einer stehenden Oscillation. Der Hergang dieser Bildung läßt sich auf dem in 340 betretenen Wege leicht nachweisen, wenn man darauf Rücksicht nimmt, daß durch Reflexion immer die Ausbeugung nach einer Seite in eine entgegengesetzte übergeht. Es kann eine Saite sogar der ganzen Länge nach und zugleich in mehreren aliquoten Theilen ihrer Länge schwingen.

Versetzt man z. B. eine hinreichend lange, am besten mit Metall übersponnene Darmsaite in Querschwingungen; so hört man nebst dem Haupttone, den sie gibt, wenn sie nach der ganzen Länge schwingt, mehrere höhere Nebentöne, und zwar die nächst höhere Octave, die Quinte dieser Octave u. s. w. Da nun die Spannung und Dicke der Saite unverändert geblieben ist, so muß mit der ganzen Saite auch zugleich ein Theil schwingen, der die Octave, ein anderer, der die Quinte der Octave gibt u. s. f., mithin muß sie sich in Stücke theilen, deren Länge $1/2$, $1/3$, $1/4$ rc. der ganzen Saite beträgt, und jeder Theil muß so schwingen, als wäre er für sich bestehend. Eine Saite die der ganzen Länge nach und zugleich in aliquote Theile getheilt, schwingt, muß nothwendig eine Gestalt annehmen, die aus der Gestalt, welche beiden Schwingungsarten zukommt, zusammengesetzt ist. Hat z. B. die Saite AB (Fig. 150) die Krümmung AHB, wenn sie der ganzen Länge nach schwingt, hingegen die Gestalt AFDfB, wenn jede ihrer Hälften schwingt; so entsteht aus diesen beiden die Krümmung AECh B, die man erhält, wenn man HE = GF und ch = fg macht, endlich durch A, E, C, h, B die Curve zieht. Daß eine tönende, nach der Quer schwingende Saite nicht gerade in der Mitte ihre größte Ausbeugung haben muß, und daß diese, der Tonhöhe unbeschadet, an jeder Stelle zwischen den zwei Enden Statt finden kann, ist für sich klar. Eine Saite hat bei der größten Ausbeugung immer die größte Länge und Spannung. Ruhen die Enden einer Saite nicht auf scharfen, sondern auf nach einem bestimmten Gesetze abgerundeten Stegen; so muß sich die Saite nach Maßgabe ihrer größeren oder kleineren Excursion mehr oder weniger abwickeln, und ihre durch dieses Abwickeln vermehrte Verlängerung kann durch die vermehrte Spannung genau compensirt werden, so daß bei größeren und kleineren Excursionen Töne von gleicher Höhe entstehen. (Weber in Pogg. Ann. 28. 1.)

347. Längenschwingungen werden erregt, wenn man den Bogen unter einem sehr spitzen Winkel auf die Saite aufsetzt und sie

damit streicht. Dabei ziehen sich alle oder nur einzelne Theile der Saite abwechselnd zusammen, und dehnen sich wieder aus. Schwingt die Saite AB (Fig. 152) ohne Schwingungsknoten, so stützen sich ihre Theile bei der Bewegung an die befestigten Enden; berührt man sie in der Mitte C leicht, so bildet sich da ein Schwingungsknoten, und die Theile der Saite bewegen sich abwechselnd gegen und von einander, wie die Pfeile zeigen. Auf gleiche Weise kann man eine Abtheilung in 3, 4 ꝛc. Theile, mithin 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten erzeugen, wenn man die Saite in $^1/_3$ oder $^1/_4$ ꝛc. ihrer Länge sanft berührt. Nimmt man die Schwingungsanzahl der ganzen Saite als Einheit an, so lassen sich die Schwingungszahlen bei 1, 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten durch 2, 3, 4 ꝛc. ausdrücken. Die Gesetze der Längenschwingungen haben mit denen der transversalen nichts gemein, als daß sich die Höhe des Tones nach der Länge der Saite richtet, und die Schwingungszahlen dieser Länge verkehrt proportionirt sind; aber die durch Längenschwingungen hervorgebrachten Töne sind durchaus höher als jene, welche bei Querschwingungen derselben Saite entstehen, gar nicht von der Dicke und, besonders bei sehr langen und dicken Metallsaiten, sehr wenig von der Spannung, wohl aber vom Materiale der Saite abhängig. Man muß daher zu Versuchen über diese Schwingungen sehr lange Saiten nehmen.

Die Längenschwingungen stehen zu den transversalen in einer solchen Beziehung, daß sich das Quadrat der Schwingungsanzahl bei ersteren zum Quadrate der Schwingungsanzahl bei letzteren verhält wie die Saitenlänge zu der durch ihre Spannung erzeugten Verlängerung. Die Schwingungen einer Saite mögen transversal oder longitudinal seyn, so bewegen sich ihre kleinsten Theile doch immer nach der Länge und nach der Quere zugleich, indem bei jeder wie immer gearteten Schwingung nur eine Annäherung oder eine Entfernung der kleinsten Theile von einander Statt finden kann, und in sofern ist es wohl begreiflich, daß transversale Schwingungen fast immer von longitudinalen begleitet sind und umgekehrt, so wie daß eine transversal wirkende Kraft Längentöne erzeugen kann, und in sofern besteht das Tönen einer Saite allerdings in einer Molecularbewegung; aber diese Bewegung ist in der That eine oscillirende, weil die Theilchen nach einer und dann nach der entgegengesetzten Richtung aus der Lage des Gleichgewichtes treten; der Inbegriff dieser Bewegungen aller Theile macht nun die Bewegung der Saite aus, und diese ist auch eine oscillirende. Darum sagt man auch schlechtweg das Tönen einer Saite entstehe durch die oscillirende Bewegung derselben. (Vergleiche Pellisov in Schweigg. 67. 169.)

348. Eine schmale, nur der Länge nach gespannte Membrane schwingt so wie eine Saite, und die Knoten aller Längenfasern bilden eine Knotenlinie. Ist diese Membrane breiter, so befolgt sie in ihren Schwingungen Gesetze, wie elastische Scheiben, von denen in der Folge die Rede seyn wird. Eine allerseits gespannte Membrane, wie z. B. ein Trommelfell, kann einige Schwingungen annehmen, die mit denen der Saiten übereinkommen, und bei diesen befolgen auch die Töne nach Riccati's Erfahrungen dieselben Verhältnisse, wie bei Saiten; aber

einige Schwingungsarten weichen von denen an Saiten bedeutend ab, ja es sind manche, die bei Saiten Statt finden, für gespannte Membranen ganz unmöglich. Durch aufgestreuten Sand kann man die Schwingungsknoten an gespannten Membranen sichtbar machen. Dieses geht besonders leicht von Statten bei gespannten, dünnen Häutchen aus Kautschuk, die man durch einen Luftstoß zum Tönen bringt, indem man in eine senkrecht gegen das Häutchen stehende, aber dasselbe nicht berührende Röhre bläst. (Marx in Pogg. J. 65. 148; 66. 109.)

349. Die Schwingungen elastischer Stäbe geschehen nach anderen Gesetzen, als die der Saiten, weil ihre Elasticität nach allen Richtungen, nicht bloß nach der Länge, wirkt. Da sie für sich, ohne künstliche Spannung, schon elastisch sind; so kann man die Versuche mit ihnen auf mannigfaltige Art abändern, man kann sie entweder an einem Ende, oder nur in der Mitte, oder an beiden Enden befestigen, an einem Ende an einen harten Körper anstemmen, am anderen frei lassen oder befestigen, oder endlich an beiden Enden anstemmen.

350. Wenn man solche gleich dicke und gleichförmig dichte Stäbe, wie z. B. Stahl- oder Glasstangen oder schmale Glasstreifen, mit einem Bogen rechtwinkelig streicht; so geben sie wahrnehmbare Töne, deren Höhe bei übrigens gleichen Umständen im geraden Verhältnisse mit der Dicke, und im verkehrten mit dem Quadrate der Länge steht. Sollen Schwingungsknoten entstehen, so darf man den Stab nur an der Stelle, wo einer hinfällt, leicht berühren und ihn dann streichen; an flachen Stäben kann man die Schwingungsknoten durch Sand sichtbar machen. Da zeigt es sich, daß sich alle an einem parallelepipedischen Stabe möglichen Knotenliniensysteme in gewisse Klassen bringen lassen, nach Maßgabe der Anzahl der Stellen, wo sie die Axe der schwingenden Fläche des Stabes schneiden. Die in eine Klasse gehörigen schneiden diese Axe nicht bloß in gleich vielen, sondern auch genau an denselben Stellen. Mit der Anzahl der Schwingungsknoten nimmt die Höhe des Tones zu. Den tiefsten Ton gibt daher ein Stab, der ohne Knoten schwingt, wie AB in Fig. 153. Ist dieser in A befestigt, in B aber frei, so macht er beim Schwingen mit seiner Richtung AB im ruhigen Zustande Winkel, deren Scheitel im befestigten Punkte A liegen; bei jeder anderen Schwingungsart wird diese Richtung in so vielen Punkten durchschnitten, als Schwingungsknoten vorhanden sind. Bei einem derselben schwingt er, wie Fig. 154, bei zweien, wie Fig. 155 zeigt. Ist der Stab in A bloß angestemmt, in B ganz frei, so hat er bei der einfachsten Schwingungsart schon einen Schwingungsknoten, aber seine Gestalt weicht von der in Fig. 154 bezeichneten ab, und ist mehr gekrümmt, indem sich da die Theile schon nahe am angestemmten Punkte mehr von ihrer natürlichen Richtung entfernen können, als es im vorhin erwähnten Falle möglich war. Sind beide Enden des Stabes frei, so hat er bei der einfachsten Schwingung schon zwei Schwingungsknoten. Ein beiderseits angestemmter Stab schwingt wie eine Saite, nur mit einer anderen Folge der Tonhöhen; ja selbst wenn er an beiden Enden befestigt ist, haben seine

Schwingungen noch mit denen der Saiten viele Aehnlichkeit, es sind aber sowohl die Tonverhältnisse als auch die Krümmungen von denen eines beiderseits bloß angestemmten Stabes merklich verschieden. Spannt man einen dünnen, polirten Stahlstab, z. B. eine durch Hämmern gehärtete Stricknadel, an einem Ende in einen Schraubstock ein, und versetzt ihn durch einen Hammerschlag in Querschwingungen; so kann man die Gestalt desselben beim Oscilliren und den Ort seiner Schwingungsknoten genau sehen. Hat er am freien Ende ein polirtes Knöpfchen, so gibt dieses, vom Sonnenlichte oder von einer Kerzenflamme beleuchtet, beim Schwingen sehr symmetrische Figuren. Wheatstone's Kaleidophon. (Schweigg. J. 50. 490.)

Die Tonhöhen eines einerseits befestigten, andererseits freien Stabes, der mit 1 oder 2 Schwingungsknoten schwingt, verhalten sich, wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5; wenn er aber mehrere Knoten hat, vom zweiten an, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 rc. Ist ein Ende angestemmt, das andere frei, so folgen die Töne auf einander, wie die Quadrate von 5, 9, 13, 17 rc.; sind beide Enden frei, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 rc. Die Tonreihe eines beiderseits angestemmten Stabes folgt den Quadraten von 1, 2, 3, 4 rc., die eines beiderseits befestigten den Quadraten von 3, 5, 7 rc. Ein einerseits befestigter, andererseits angestemmter Stab befolgt dasselbe Gesetz der Tonreihe, wie ein einerseits angestemmter, andererseits freier. Die Lage der Knotenlinien eines elast. Stabes kann man durch Versuche, noch besser aber durch Rechnung bestimmen. (D. Bernoulli in *Com. Acad. Petrop. tom.* 8; Euler in *Act. Acad. Petrop.* 1779. 1. 103; Strehlke in Pogg. Ann. 27. 505.)

351. Reibt man einen elastischen, hinreichend langen, glatten, möglichst geraden, dünnen Stab nach der Länge mit einem befeuchteten oder mit Bims überstreuten Lappen; so geräth er in Längenschwingungen. Glasstreifen versetzt man in solche Schwingungen am leichtesten durch einen Schlag, oder durch Reiben eines mit demselben der Länge nach verbundenen Glasstabes. Bei diesen Schwingungen geben die Stäbe Töne, die sich zu den bei Querschwingungen entstandenen so verhalten, wie die der Saiten. Bestreut man den Stab mit Sand, so häuft sich dieser an den Ruhestellen an, und macht sie sichtbar.

Savart hat (*Ann. de Ch.* 25. 255) die Lage der Schwingungsknoten longitudinal schwingender, hohler und massiver Cylinder, so wie die eben so schwingender, schmaler, langer Platten untersucht, und mehrere interessante Resultate gefunden. Er hielt zur Erreichung dieses Zweckes die zu untersuchenden Cylinder horizontal, behing sie von außen mit schmalen, ovalen Papierringen, vertheilte, wenn sie hohl waren, im Inneren derselben feinen Sand möglichst gleichförmig, und strich sie der Länge nach. Dabei fand er, daß die Schwingungsknoten hohler Cylinder nicht an beiden Oberflächen in dieselben Querschnitte fallen, sondern daß dort, wohin an der inneren Fläche ein Schwingungsknoten fällt, die Theile der äußeren Oberfläche die größte Bewegung haben. Als er eine solche Röhre um ihre Axe drehte, und in jeder Lage den Ort der Schwingungsknoten untersuchte, überzeugte er sich, daß die Knoten beider Oberflächen in schraubenförmigen Linien liegen, die aber nicht gleichförmig gebeugt um die Röhre herumgehen, sondern meistens aus zwei Stücken bestehen, wovon das eine in einem

Querschnitte der Röhre liegt, während das andere mehr gerade ausgeht. Fig. 156 zeigt dieses für Eine Oberfläche. Bei einigen Röhren, die man in der Mitte hält und an einem Ende streicht, findet man die Schraubenlinie an einer Hälfte rechts, an der anderen links gewunden, und beide in der Mitte aufhörend; bei anderen findet man die Knotenlinie durch die ganze Röhre auf dieselbe Weise gewunden. Die Gebrüder Weber (Wellenlehre S. 555 und Schweig. J. 44. 389; 45. 290 und 298) wollen an kurzen, weiten, sehr regelmäßigen Röhren die Knotenlinien der inneren Wand quer um den Cylinder liegend gefunden haben, jedoch so, daß sich jede derselben nur auf den halben Umfang eines Querschnittes erstreckte; für die andere Hälfte fiel sie in einen anderen Querschnitt. Von der spiralförmigen Anordnung der Knotenlinien bei den Längenschwingungen der Cylinder fand Savart selbst noch an schmalen, langen, schwingenden Platten eine Spur. Bringt man nämlich einen $^1/_2$—$^3/_4$ Z. breiten, langen, horizontalen und mit Sand bestreuten Glasstreifen zum Schwingen; so ordnet sich der Sand in parallele, auf der Länge des Streifens senkrechte Linien. Merkt man sich diese Stellen, kehrt dann den Streifen um, und versetzt ihn aufs Neue in Längenschwingungen; so sammelt sich der Sand nicht mehr an den den vorigen gegenüber liegenden Stellen, ja wenn der Streifen 1—1$^1/_2$ L. dick ist, so liegen die nun vorhandenen Knotenlinien genau der Mitte zweier vorhin entstandenen gegenüber. An der schmäleren Seite der Platte liegen die Knotenlinien gar schief, als wollten sie die den beiden entgegengesetzten Flächen zugehörigen mit einander verbinden. An (1—2 Zoll) breiten Streifen erscheinen selbst die Knotenlinien der größeren Flächen gebogen, wie Fig. 157 zeigt.

352. Außer den angeführten zwei Schwingungsarten sind Stäbe noch einer dritten fähig, der drehenden. Man erregt sie am leichtesten an cylindrischen Stäben, die man an einem Ende in einen Schraubstock einspannt und am anderen in drehender Bewegung mit einem Bogen streicht. Durch Berühren an Stellen, wohin Schwingungsknoten fallen, kann man auch eine Abtheilung in schwingende Theile bewirken. — Die Längen-, Quer- und drehenden Schwingungen elastischer Stäbe stehen mit einander in einer solchen Verbindung, daß man aus der durch Erfahrung ausgemittelten Schwingungsanzahl bei einer dieser Schwingungsarten auf die bei den anderen schließen kann.

353. Die hier dargestellten Gesetze der Schwingungen gerader Stäbe befolgen auch die gekrümmten, nur mit dem Unterschiede, daß die Schwingungsknoten, zwischen welche die Biegung fällt, durch das Biegen einander näher gerückt und so die Töne erhöht werden. Davon überzeugt man sich am leichtesten, wenn man eine Stange von Glas oder Metall nach und nach immer mehr biegt, und sie bei jedem Grade der Biegung zum Tönen bringt. Ein gabelförmiger Stab, wie unsere Stimmgabeln, gibt den tiefsten Ton, wenn man ihn an einem Ende faßt und am andern schlägt, oder mit einem Bogen streicht. Einen höheren Ton gibt er, wenn er mit zwei Knoten, wie in Fig. 158, und einen noch höheren, wenn er mit vier schwingt, wie aus Fig. 159 zu ersehen ist. Ein ringförmiger Körper theilt sich beim Schwingen in 4, 6, 8... gleiche Bogentheile, die nach entgegengesetzten Richtungen schwingen. Berührt man ihn an den Grenzen solcher Theile, und streicht ihn an einer Stelle, die zwischen zwei solchen

Grenzen liegt; so bekommt man einzelne Töne heraus, die den Schwingungen der Theile entsprechen und desto höher sind, in je mehr solche Theile sich der Ring getheilt hat.

354. Fast bei allen diesen Schwingungen betrachtet man elastische Stäbe bloß als Linien, und sieht dabei gleichsam nur auf die Bewegung der in ihrer Längenaxe liegenden Theile. Bei langen und dünnen Stäben kann dieses auch ohne merklichen Fehler geschehen; bei solchen hingegen, wo die Breite und Dicke so groß ist, daß sie einen merklichen Einfluß auf die Schwingungen des Ganzen nehmen, werden die vorhergehenden Gesetze merklich modificirt. Dieses kann man vorzüglich aus der ungleichen Schallverbreitung (333) rings um einen solchen Stab abnehmen. Aus W. Weber's schönen Untersuchungen über diesen Gegenstand (Schweigg. J. 48. 423) geht hervor, daß ein prismatischer, ziemlich dicker Stab, bei seinen Querschwingungen zwei Wellen in der ihn umgebenden Luft erregt, nämlich eine an der Vorder-, die andere an der Hinterfläche. Diese zwei Wellen haben entgegengesetzte Eigenschaften, und die eine entsteht etwas früher als die andere. Es scheint, als gäbe es in jedem Querschnitte eines solchen Stabes ähnliche Schwingungen, wie in einem Ringe, der mit mehreren Schwingungsknoten schwingt. Nach Poisson's Analyse erfolgt während einer Längenschwingung eines Stabes eine auf seine Axe senkrechte (normale) Schwingung, die mit jener isochron ist, und dort die größte Ausbeugung verursacht, wo bei jener ein Schwingungsknoten ist und umgekehrt.

355. Wenn elastische Platten an einer oder an mehreren Stellen fest gehalten und an einer anderen mit einem Bogen normal gestrichen werden, so bilden die Knotenlinien, die durch aufgestreuten Sand sichtbar gemacht werden, gewisse Figuren, welche man Klangfiguren oder insbesondere nach ihrem Entdecker, Chladni'sche Klangfiguren nennt, und aus denen man auf die Art der Bewegung der Platten schließen kann. Um diese Figuren rein hervorzubringen, bedient man sich am besten Scheiben von grünem, dünnen Fensterglase, denen der scharfe Rand benommen worden ist; matt geschliffene Glastafeln gewähren den Vortheil, daß man die Klangfiguren mit einem fein gespitzten Bleistift nachzeichnen kann; es lassen sich aber auch Metallplatten und selbst Holzscheiben dazu brauchen. Man reicht meistens aus, wenn die Platten einen Durchmesser von 3—6 Zoll haben, nur für verwickeltere Figuren braucht man größere, am besten metallene Tafeln. Die Form der Klangfiguren wird durch die Lage des Entstehungsortes der Wellen, durch die Länge der entstandenen Wellen und durch die Gestalt der Platte bestimmt, wie man leicht einsieht, wenn man bedenkt, daß sie aus dem regelmäßigen Zusammentreffen der directen und reflectirten Wellen entstehen. Daher geben Platten von verschiedener Gestalt auch verschiedene Klangfiguren, daher lassen sich auch in derselben Platte verschiedene Klangfiguren hervorbringen, je nachdem man mit dem Bogen stärker oder schwächer, schneller oder langsamer streicht, und dadurch gleichsam die Länge einer Welle bestimmt,

endlich die Lage des Punktes, wo man die Platte hält, gegen den, welchen man streicht, abändert. Die Zeichnungen Fig. 160—167 stellen solche Klangfiguren an quadratförmigen und kreisrunden Scheiben vor, welche entstehen, wenn man sie in a hält und in b streicht. Man kann die an einer Platte von bestimmter Gestalt hervorbringbaren Klangfiguren, ähnlich denen an transversal schwingenden Stäben nach Maßgabe der Anzahl und Lage gewisser Punkte, wo Knoten hinfallen, in mehrere Classen bringen. So z. B. machen bei einer kreisrunden Scheibe alle bloß aus Durchmessern bestehenden Figuren eine eigene Classe, die aus concentrischen Kreisen ohne Durchmesser bestehenden eine andere, die aus Kreisen und Durchmessern gebildeten wieder eine andere ꝛc. Die Klangfiguren beider Oberflächen liegen, wenigstens bei dünnen Scheiben, genau über einander.

356. Die einfachste Figur ist immer von dem tiefsten Tone begleitet, den eine Scheibe gibt, und je zusammengesetzter eine Klangfigur wird, desto höher fällt auch der Ton aus. So gibt eine Quadrattafel bei der Behandlung, wo auf ihr die Fig. 160 entsteht, den tiefsten Ton; ein höherer begleitet die Fig. 161, und ein noch höherer die Fig. 162. Doch gehört nicht zu jedem Tone eine eigene Klangfigur; denn ähnliche, jedoch ungleich große Scheiben geben bei gleicher Behandlung gleiche Figuren, aber Töne von verschiedener Höhe; und in derselben Scheibe kann man oft durch eine kleine Verrückung der gehaltenen Stelle eine Aenderung der Figur hervorbringen, ohne daß die Höhe des Tones nur im geringsten geändert wird. So geht in einer Quadrattafel die Figur 163 alsogleich in 164 über, wenn man die fest gehaltene Stelle a nur wenig einwärts rückt, und doch bleibt die Höhe des Tones unverändert.

357. Die Knotenlinien sind, nach Chladni, bald gerade, wie in Fig. 160—163, bald gekrümmt, wie in Fig. 164, und die Krümmungen können zu allerlei krummen Linien gehören; wenn sie aber nicht in sich zurückkehren, so erstrecken sie sich immer bis an die Ränder der Scheibe und hören nie in derselben auf. Die Entfernung einer Knotenlinie von einer anderen ist immer ein aliquoter Theil der Dimension der Platte, welche auf ihnen senkrecht steht. Verwickelte Klangfiguren haben das Eigene, daß sie aussehen, als wären sie aus einfachen zusammengesetzt, die man an ähnlichen Tafeln erzeugen kann. So entsteht die Fig. 168, die man in einer etwas großen Quadrattafel erzeugen kann, auch, wenn man 4 kleine Tafeln, an denen die Figur 160 hervorgebracht wurde, so zusammensetzt, wie die stark ausgezogenen Linien zeigen.

358. Die Schwingungen gekrümmter Tafeln, z. B. der Glocken, sind ganz denen ähnlich, welche bei ebenen Flächen bemerkt werden. Eine Glocke theilt sich beim Schwingen in eine gerade, größere oder kleinere Anzahl Theile, die zugleich mit dem Ganzen schwingen. Daher hört man bei einer Glocke außer dem eigenthümlichen, tiefsten Tone mehrere höhere, ja man kann ihr jeden dieser Nebentöne

für sich entlocken, wenn man sie an einem oder an zwei Punkten, wohin eine Knotenlinie fällt, sanft hält, und die Mitte mit einem Bogen in der Richtung des Durchmessers streicht. Ist sie dabei mit Wasser gefüllt oder mit angefeuchtetem Sande bedeckt; so werden die Knotenlinien durch das Kräuseln des Wassers oder durch die Anhäufung des Sandes sichtbar. Durch das letztere Mittel kann man die ruhenden Stellen der äußeren und inneren Fläche zugleich sichtbar machen, und sich überzeugen, daß eine Knotenlinie der einen Fläche zwischen zwei Knotenlinien der anderen falle.

359. An Platten von besonders symmetrischem Baue, wie z. B. an kreisrunden Scheiben, an Glocken und Ringen, können die Knotenlinien, der Größe der schwingenden Theile und der Tonhöhe unbeschadet, ihren Ort ändern. Man kann eine solche Bewegung der Knotenlinien wirklich hervorbringen, wenn man die Platte durch einen raschen Bogenstrich in Schwingungen versetzt, den Bogen schnell zurückzieht, wieder einen Strich anbringt rc. und so mehrmal hinter einander verfährt. Je schneller man streicht und den Bogen wieder zurückzieht, desto schneller rücken die Knotenlinien fort. Wiederholt man dasselbe Verfahren, sobald diese Linie in Ruhe gekommen ist; so kann man sie neuerdings zum Weiterrücken bringen, und sie in einem ganzen Kreise herumführen. Erfolgen die Schwingungen langsam, so kann man dieses Weiterschreiten durch feinen Sand sichtbar machen, bei schnellen Schwingungen hingegen sieht man es nur, wenn man Sonnenlicht auf die Scheibe fallen läßt, und das Bild der Sonne beim Schwingen derselben betrachtet. Auf einer kreisförmigen, runden Scheibe erscheint dieses oval, beim Schwingen aber (falls eine sternförmige Klangfigur entsteht) sternförmig, und wenn die Schwingungsknoten weiter rücken, so nimmt auch dieser Stern eine kreisförmige Bewegung an. (Savart in Zeitsch. 4. 109.)

360. Die bisher betrachteten Schwingungen tönender Körper sind nicht bloß wegen ihrer acustischen Beziehung interessant, sondern auch darum, weil sie uns ein sehr leicht anwendbares und genaues Mittel darbieten, die Größe und Vertheilung der Elasticität in einem Körper zu erkennen. Schneidet man von einem Körper nach verschiedenen Richtungen parallelepipedische Stäbe von gleichen Dimensionen, und versetzt sie auf einerlei Weise in Schwingungen; so kann man aus der Tonhöhe bei einerlei Abtheilungsart der Stäbe auf ihre Schwingungsanzahl und daraus auf ihre Elasticität schließen. Schneidet man von einem Körper gleichförmig dicke Kreisscheiben und versetzt sie in Schwingungen, bei welchen eine aus diametralen Linien bestehende Klangfigur entsteht; so müssen diese Linien jede Richtung annehmen können, wenn die Scheibe allenthalben gleich elastisch ist. Nehmen jene Linien nicht jede Lage an, so besitzet die Scheibe nicht allenthalben einerlei Elasticität, aber man wird die Stellen der kleinsten und größten Elasticität und das Gesetz ihrer Anordnung leicht ausfindig machen können. Durch dieses Mittel erkannte Savart, daß Holz, krystallisirte Körper, von denen er besonders Doppelspath und Bergkrystall näher un-

tersucht hat, nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Elasticität besitzen.

Eine Scheibe, die senkrecht auf die Axe eines knotenfreien, mit vollkommenen Jahrringen versehenen, cylindrischen Holzstammes geschnitten ist, hat offenbar parallel mit der Axe (und mit den Fasern des Holzes) eine andere Elasticität, als in einer darauf senkrechten Ebene, und selbst in dieser Ebene kann die Elasticität nach verschiedenen Richtungen verschieden seyn. Savart fand sie mittelst Stäben aus einem Buchenstamme in einer auf die Fasern senkrechten Ebene nach einer Richtung = 1, nach einer darauf senkrechten = 2.25, in der Richtung der Fasern hingegen = 16. Macht man auf einer kreisförmigen, gleichförmig dicken Metallscheibe, auf welcher eine diametrale Knotenlinie jede Richtung annehmen kann, mit einer Säge parallele Einschnitte, und schwächt dadurch nach der Richtung derselben ihre Elasticität; so kann eine aus zwei auf einander senkrechten Durchmessern bestehende Klangfigur auf ihr nicht mehr jede beliebige Lage annehmen, sondern es ist immer eine Knotenlinie mit den Einschnitten parallel, eine andere darauf senkrecht, und will man mit Gewalt diese Knotenlinie an einer anderen Stelle erzwingen, so gehen die Durchmesser in hyperbolische Curven über. Demnach zeigen diese Durchmesser an ungleichförmig elastischen Platten immer die Stellen an, wo die Elasticität am größten oder am kleinsten ist. Eine Holzscheibe senkrecht auf die Fasern geschnitten, hat meistens an jeder Stelle eine Klangfigur mit diametraler Knotenlinie, ist also rings um das Centrum der Jahrringe gleich elastisch, eine schief gegen die Fasern oder mit ihnen parallel geschnittene thut dieses nicht, ist also auch nicht gleichförmig elastisch. Platten aus Bergkrystall, senkrecht auf die Hauptaxe des Krystalls geschnitten, erscheinen rings um die Axe gleich elastisch, aber die der Axe parallelen Flächen haben ungleiche Elasticitäten, noch mehr eine schief gegen die Axe geschnittene. Doppelspath stimmt fast ganz mit dem Bergkrystall überein, und nur darin besteht zwischen beiden ein wesentlicher Unterschied, daß die kleine Diagonale der Rhomboederfläche beim Bergkrystalle die Axe der größeren, beim Kalkspath aber die der kleineren Elasticität ist. (Savart in Pogg. Ann. 16. 206.)

361. Ein elastischer Körper kann nicht bloß in der atm. Luft, sondern auch in jedem anderen Gase, ja sogar in tropfbaren Flüssigkeiten, wie z. B. in Weingeist, in Oehl, in Quecksilber rc. oscilliren. Man erregt in letzteren Schwingungen mittelst eines Glasstabes, welchen man an den in Oscillationen zu versetzenden Körper so ankittet, daß ein Theil davon aus der Flüssigkeit herausragt, in die man jenen Körper getaucht hat, und diesen Stab streicht. Bei Versuchen dieser Art hat man erfahren, daß das Mittel durch seine Trägheit und seinen Widerstand auf die Schnelligkeit der Schwingungen, mithin auch auf die Tonhöhe Einfluß hat, welcher um so größer ausfällt, je größer die in Bewegung gesetzte Masse des Mittels ist. Daher erfolgen longitudinale Schwingungen, welche das Mittel nur wenig in Anspruch nehmen, fast in allen Flüssigkeiten auf gleiche Weise, und die Tonhöhe erleidet in denselben keine merkliche Veränderung, während transversale Schwingungen von dem Mittel, worin sie Statt finden, in hohem Grade abhängen, und bei übrigens gleichen Umständen von desto tieferen Tönen begleitet sind, je dichter das Mittel ist. Uebri-

gens bilden sich in jedem Mittel, selbst wenn es tropfbar flüssig ist, am tönenden Körper bei gehöriger Behandlung Klangfiguren, und man kann sie eben so wie bei Schwingungen, die in der Luft vor sich gehen, durch Sand, den man durch die Flüssigkeit auf den tönenden Körper gelangen läßt, sichtbar machen. Doch sind nicht alle Figuren, die sich auf solche Weise zeigen, wahre Klangfiguren, d. h. solche, die aus Linien bestehen, welche Knotenlinien bezeichnen, sondern manche derselben werden durch die Bewegung des Mittels bedingt, worin die Bewegung erfolgt.

Das Mittel wird nämlich, besonders durch transversale Schwingungen der Platte, auch in eine vibrirende Bewegung versetzt. Denn so wie ein Theil der vibrirenden Fläche aufsteigt, theilt er dem Mittel eine gewisse nach aufwärts gekehrte Geschwindigkeit mit, weicht aber beim Zurückkehren von dem Mittel zurück, und macht, daß es in das so entstehende Vacuum einzudringen suchen muß. Aber nicht an allen Stellen einer vibrirenden Partie kann das Mittel gleich schnell zurückkehren, sondern es wird dieses auf der Stelle der größten Vibration (am Vibrationscentrum) langsamer geschehen als an anderen Stellen, weil daselbst die vibrirende Fläche die größte Geschwindigkeit und die größte Excursion hat. Das Mittel strömt daher von allen Seiten diesem Centrum zu, und kann sehr feine Pulver, z. B. Hexenmehl, bis zu jenem Centrum mit sich fort führen. Daher kommt es auch, daß sich bei der Anwendung eines aus feinen und gröberen Theilen gemengten Sandes die gröberen an den gewöhnlichen Knotenlinien, die feineren aber zwischen diesen anhäufen und eine Figur geben, welche Savart irrig einer weiteren Abtheilung der schwingenden Partien zuschreibt. Daß diese secundäre Figur von der Bewegung des Mittels herrühre, lehrt der Umstand, daß sie sich im leeren Raume oder in sehr verdünnter Luft nicht bildet, sondern daß aller Sand an der eigentlichen Knotenlinie abgesetzt wird. Man kann die Schwingungen, in welche das Mittel durch die Platte versetzt wird, leicht sichtbar machen, wenn man als solches eine Schichte einer tropfbaren Flüssigkeit, z. B. Wein, oder noch besser Milch braucht.

F. Schwingungen mittönender Körper.

362. Die schwingende Bewegung schallender Körper kann sich denen, mit welchen sie in Berührung stehen, nicht bloß so mittheilen, daß hierdurch der Schall fortgepflanzt wird, sondern auch so, daß sie selbst mitklingen und den Schall verstärken. Die Gesetze dieser Mittheilung sind äußerst wichtig; denn sie spielen bei unseren Saiteninstrumenten und überhaupt in allen jenen Fällen, wo es uns um Verstärkung des ursprünglichen Schalles zu thun ist, eine große Rolle, und nur durch ihre Kenntniß kann man zu einem ganz sicheren Verfahren geleitet werden, um solche Instrumente in möglichster Güte zu verfertigen, und dabei weniger vom Zufalle abzuhängen, als es bis jetzt leider noch der Fall ist.

363. Von der Wirklichkeit der Mittheilung hörbarer Schwingungen in Körpern von der mannigfaltigsten materiellen Beschaffenheit und von verschiedenem Aggregationszustande überzeugt man sich durch mehrere Erfahrungen. Bringt man eine Stimmgabel durch einen

Schlag in Bewegung und hält sie dann frei in der Hand, so hört man nur einen äußerst schwachen Ton; setzt man sie aber auf einen Kasten von dünnem, elastischen Holze, z. B. auf den oberen Boden einer Violine, so erscheint dieser Ton viel stärker und anhaltender. Es müssen also die Holzfasern des Kastens in Bewegung gesetzt worden seyn. Der Ton der sogenannten Mundharmonica (Maultrommel) ist außer dem Munde nicht vernehmbar, im Munde hingegen, wo die Luft zum Mittönen gebracht wird, erscheint er hinreichend stark und hörbar. Selbst eine Stimmgabel tönt viel stärker, wenn man sie vor den Mund oder vor das Mundloch einer Flöte hält. Der Ton einer Orgelpfeife theilt sich einer gespannten Membrane durch die Luft mit, und setzt darauf gestreuten Sand in Bewegung. Diese Mittheilung findet auch unter einem ganzen Systeme von Körpern Statt, und es kann auch ein Mittönender einen anderen mit ihm verbundenen zum Mittönen bringen. Schlägt man an einem Clavier, in dessen Nähe eine Violine hängt, mehrere Töne an, so vernimmt man deutlich, daß die Violinie mitklingt, und daß sich ihre Saiten, wenn sie nicht in ihrer ganzen Länge diesen Ton geben können, in solche Theile abtheilen, die dazu geschickt sind. Man kitte auf eine kurze Glasstange zwei kreisförmige Scheiben, so daß ihre Flächen auf der Axe der Stange senkrecht stehen, halte den Stab vertical, und bestreue beide Scheiben mit feinem trockenen Sande. Entlockt man nun einer dieser Scheiben einen Ton, so ordnet sich der Sand nach der ihren Schwingungen zugehörigen Klangfigur, allein nicht bloß auf der unmittelbar zum Schwingen gebrachten Scheibe, sondern auch auf der mit ihr mittelbar verbundenen, und in beiden entsteht dieselbe Klangfigur. In allen Instrumenten, welche Resonanzböden haben, wird die Luft unter dem Resonanzboden durch den schallenden Körper mittelst des Bodens in Bewegung gesetzt; besonders wenn die Saiten in einer gegen den Resonanzboden senkrechten Ebene schwingen, wie beim Fortepiano, und man kann die mittgetheilten Schwingungen des Resonanzbodens mittelst metallener, gläserner oder hölzerner Stäbe, die ihn berühren, weit fort leiten, und so die Töne der Saiten in Oertern hörbar machen, wohin sie durch die Luft oder durch Mauern nicht dringen können. Diesem Mittönen der Körper ist es zuzuschreiben, daß die Stimme eines Menschen in einem Zimmer ausgiebiger ist, als im Freien, daß eine Musik sich in einem Orte besser ausnimmt als in einem anderen. Daß an manchem Platze einige Töne mehr verstärkt werden als andere, und daß selbst an neuen musikalischen Instrumenten manche Töne vorzüglich voll und rund klingen, kommt daher, daß jeder mitklingende Körper nur jene Töne begleiten kann, die er entweder selbst zu geben im Stande ist, oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen sind, welche am mittönenden Körper Statt finden können. (Weber in Schweigg. J. 53. 327. Wheatstone in Pogg. Ann. 26. 251.)

364. Um den inneren Verlauf der Sache beim Entstehen mittönender Bewegungen einzusehen, denke man sich einen begrenzten Kör-

per, z. B. ein dünnes Bret, mit einem tönenden Körper in Berührung. Jeder Stoß, welchen dieser Körper auf jenes Bret ausübt, erregt in demselben eine fortschreitende Welle. Diese erweitert sich bis zum Ende des Bretes, wird daselbst in zwei Theile zerlegt, wovon einer in das angrenzende Mittel übergeht und den Schall fortpflanzet; der andere wird reflectirt und erzeugt, indem er directen, durch fernere Stöße von Seite des schallenden Körpers erregten Wellen begegnet und sie durchkreuzt, jene einer stehenden gewisser Maßen analoge Schwingung, in welcher das Mittönen besteht. Die tactmäßig erfolgenden Stöße, welche dieses Bret erfährt, zwingen es, auch auf eine Weise zu schwingen, die ihm im freien Zustande ganz fremd ist. Daher entstehen wohl auch auf dem mittönenden Körper Knotenlinien und Figuren, aber diese Figuren sind oft von den an selbsttönenden Körpern vorhandenen wesentlich verschieden, und werden Resonanzfiguren genannt. Diese Unterschiede bestehen darin, daß die Knotenlinien der Resonanzfiguren nicht so regelmäßig sind, wie die der Klangfiguren, daß ihre Zwischenräume nicht immer aliquote Theile der Größe der schwingenden Fläche sind, daß eine Knotenlinie auch mitten im schwingenden Theile enden kann, und endlich, daß die Ruhelinien nicht immer Grenzen schwingender Theile sind, sondern auch von Bewegungen einzelner Theile herrühren können.

Zwei in einerlei Ebene mit einander verbundene Kreisscheiben von einerlei Materie, geben die Klangfigur 169, die man auch in jeder Scheibe für sich unmittelbar erzeugen kann; bei einer geringen Verrückung des Bogens entsteht aber die Fig. 170, deren Hälfte man auf einer einzigen Scheibe nicht hervorbringen kann. In der Regel wird die, einem Körper eigene Schwingungsart durch Verbindung mit einem anderen desto mehr modificirt, je größer die angehängte Masse ist. Dieses zeigt besonders folgender Versuch: Verbindet man zwei Kreisschreiben von sehr verschiedener Größe mit einander so, daß beide in derselben Ebene liegen, und streicht dann die größere mit einem Bogen, so entsteht auf ihr eine Klangfigur, die ihr auch für sich selbst zukommt; streicht man aber die kleinere Scheibe und läßt ihre Bewegung der größeren mittheilen, so erhält man eine Figur wie 171, die weder in der größeren, noch in der kleineren Scheibe für sich erzeugt werden kann.

365. Bei den mitgetheilten Schwingungen bewegen sich alle Theile nach Richtungen, die unter sich und auch mit jenen parallel sind, welche den ursprünglich schwingenden Theilen zukommen. Wird eine Saite mit einem Ende an einen festen Wirbel, mit dem anderen an eine gläserne oder metallene, längliche Platte befestigt, die selbst am anderen Ende eingeklemmt ist, wie Fig. 172 zeigt, und hierauf mittelst eines Geigebogens nach einer auf der Ebene der Platte senkrechten Richtung in Querschwingungen versetzt; so schwingt auch die Platte nach derselben Richtung, wie man aus den Klangfiguren, die aufgestreuter Sand sichtbar macht, beurtheilen kann, der immer vertical in die Höhe hüpft. Bringt man solche Schwingungen an einer vertical gespannten Saite hervor, und hält eine horizontale Glasplatte daran, so sieht man auf dieser den aufgestreuten Sand nicht in die Höhe hüpfen, sondern nur horizontal fortgleiten, um sich in Knotenlinien anzuordnen, die immer auf der Richtung des Bogenstriches senkrecht stehen. „Recht

auffallend zeigt sich die Wahrheit obiger Behauptung durch folgenden Versuch, den Savart zuerst anstellte. Man befestige in der Mitte eines, mit einer gespannten Saite in Verbindung stehenden Glasstreifens A (Fig. 173) senkrecht darauf einen Streifen, an diesen wieder einen mit dem ersten parallelen u. s. w. Wird nun A mittelst der Saite in transversale Schwingung versetzt, so schwingen auch alle damit parallelen Stücke transversal, alle darauf senkrechten aber longitudinal. Das Gegentheil findet Statt, wenn A longitudinal schwingt.

Die bisher besprochene Mittheilung der Bewegung geschieht mit einer bewunderungswürdigen Regelmäßigkeit. Sind die Streifen b, b″ von gleicher Natur und von gleichen Dimensionen, eben so auch b und b‴ unter einander, aber von ersteren verschieden; so geben b und b″ dieselben Klangfiguren und eben so auch b′ und b‴, aber die von b und b′ stimmen nicht mit einander überein, wiewohl sie von derselben Quelle, nämlich von A ausgegangen sind; ja selbst das Gesetz der ungleichen Anordnung der Knotenlinien auf den zwei Flächen eines Streifens, das für Längenschwingungen Statt hat, wird hier aufs genaueste beobachtet; denn wenn alle Streifen b, b′, b″, b‴ einander gleich sind und longitudinal schwingen, so sieht man auf den zwei einander zugewendeten Flächen zweier Streifen immer dieselbe Anordnung der Ruhelinien, während die Flächen, welche nach einerlei Gegend hinsehen, eine verschiedene Anordnung derselben zeigen.

366. Wheatstone hat in Betreff der Mittheilung tönender Schwingungen eine eigene Modification entdeckt, die er, wenn auch nicht ganz passend, Polarisation des Schalles nennt. Stellt man nämlich eine Stimmgabel auf das Ende eines langen, geraden Metalldrahtes, der auf einem Resonanzboden steht; so theilt sich der Laut der Stimmgabel nur dem Brete, nicht aber dem Drahte mit. Stellt man die Stimmgabel rechtwinkelig mit dem Schafte auf ein Ende des Drahtes, so werden ihre Schwingungen durch den Draht dem Brete mitgetheilt, wenn die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, keineswegs aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken senkrecht steht. Dreht man die Stimmgabel successiv aus einer Lage in die andere, so nimmt der Ton während einer ganzen Umdrehung zweimal ab und eben so oft zu. Biegt man den Draht, während die darauf stehende Gabel den stärksten Ton gibt, so nimmt die Tonstärke ab, ist am schwächsten, wenn der Stab unter 90° gebogen ist, wächst wieder beim ferneren Biegen und erreicht ihr Maximum, wenn die beiden Drahthälften wieder parallel sind. (*Ann. de Ch.* 23. 313. Schweigg. J. 47. 108.)

Auf der Mittheilung tönender Schwingungen beruht hauptsächlich die Verstärkung des Schalles, welche man Resonanz zu nennen pflegt, wiewohl auch die an hinreichend nahen Körpern reflectirten und für unser Gehör mit den directen zusammenfallenden Wellen daran nicht selten Antheil haben. Hiernach wird man leicht begreifen, wie ein Gebäude beschaffen seyn muß, damit es eine gleichförmige, möglichst starke, dauernde Resonanz habe, daß zur Erreichung dieses Zweckes die Wände möglichst glatt, nicht mit Tapeten behängt, nicht hohl seyn sollen, und daß man das Volum des Raumes wohl zu berücksichtigen habe. Bei musikalischen Instrumenten mit einem Resonanzboden kommt

es auf die Gestalt und Größe des eingeschlossenen Luftraumes und auf die Lage seiner Oeffnungen vorzüglich an.

C. Empfindung des Schalles.

367. Das Organ, welches zur Aufnahme hörbarer Eindrücke bestimmt ist, ist das Ohr. Man theilt es in das äußere und das innere Ohr. Das äußere besteht aus der Ohrmuschel und aus dem Gehörgange, das innere aus dem Trommelfell, der Trommelhöhle, dem Labyrinthe und dem Gehörnerve. Die Ohrmuschel ist ein knorpeliger muschelförmiger Ansatz, mit mehreren vertieften und hervorragenden Windungen, welche zu dem Gehörgange führen. Dieser ist ein anfangs knorpeliger und am inneren Ende knöcherner Canal, der durch das Trommelfell geschlossen ist. Hinter dem Trommelfelle beginnt die Trommelhöhle, in welcher sich die Gehörknöchelchen, der Hammer, der Ambos, der Steigbügel und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Der Hammer theilt sich wie ein Winkelhebel in zwei Arme, wovon einer am Ende mit dem Trommelfelle verwachsen, der andere aber in den Ambos eingelenkt ist. Der Ambos ist mit seiner Spitze durch das Sylvische Bein (einem linsenförmigen Knöchelchen) mit dem Steigbügel verbunden. Alle diese Knöchelchen bilden gleichsam ein Hebelsystem, und sind mit eigenen Muskeln zu ihrer Bewegung versehen, wovon drei (der Spanner, der große und der kleine Erschlaffer) zum Hammer gehören, und einer zum Steigbügel. Die Trommelhöhle steht durch das sogenannte ovale und runde Fenster mit dem Labyrinthe in Verbindung. Das ovale Fenster ist durch die Fußplatte des Steigbügels geschlossen, das runde Fenster aber mit einem Häutchen überspannt, welches auch das zweite Trommelfell heißt. Eine andere Communication hat die Trommelhöhle mit der Mundhöhle durch die Eustachische Ohrtrompete; sie ist darum stets mit Luft von gleicher Spannung mit der atmosphärischen und von beständiger Temperatur versehen. Das Labyrinth besteht aus dem mit dem ovalen Fenster versehenen Vorhofe, aus den drei halbkreisförmigen, im Vorhofe entstehenden und wieder dahin zurückkehrenden Canälen und aus der Schnecke. Diese hat 2½ Windungen und ist der Länge nach durch eine Scheidewand in zwei Theile getheilt, welche Treppen heißen. Die eine derselben fängt am Vorhofe, die andere am runden Fenster an. Beide sind mit Nervensubstanz versehen; übrigens ist das ganze Labyrinth mit einer wässerigen Flüssigkeit erfüllt. — Außer dem Menschen haben nur noch mehrere vierfüßige Säugethiere wahre äußere Ohren, bei den im Wasser lebenden oder jenen, die darin leben können, ist der Gehörgang mit einer eigenen Klappe verschlossen, bei den Vögeln ersetzt die äußerst regelmäßige Stellung der Federn um den Gehörgang das äußere Ohr. Die vollkommeneren Thiere wie die Säugethiere, die Vögel, viele Amphibien haben ein Trommelfell, die Eustachische Röhre und Gehörknöchelchen. Das Gehörorgan der Fische besteht bloß aus drei sehr ansehnlichen Bogengängen. Thiere ohne erdige Knochenmasse haben wahrscheinlich kein Gehörorgan.

368. Ueber die Verrichtungen jedes einzelnen Theiles des Gehörorganes ist man keineswegs so in Kenntniß, wie es zu wünschen wäre. Am wahrscheinlichsten ist Folgendes: Die Schallwellen werden von der Ohrmuschel aufgenommen und wie in einem Hörrohre concentrirt. Nach Savart wird die Muschel selbst in Schwingungen versetzt, und hat die Bestimmung, den ankommenden Schallwellen stets dieselbe Fläche darzubieten, und so die Intensität des Schalles von der Neigung der Schallstrahlen gegen das Ohr unabhängig zu machen. Der Gehörgang leitet die Schallwelle zum Trommelfell, das dadurch in Bewegung gesetzt wird und den Schall wahrnehmbar macht, gleich wie ein Blatt feines Papier, das man in der Hand hält, durch sein fühlbares Zittern die Einwirkung eines Schalles verräth, der sich unmittelbar dem Tastsinn nicht verrathen hätte. Die Bewegung des Trommelfells theilt sich den kleinen Knöchelchen mit. Um einen leisern Schall wahrzunehmen, zieht der Spanner das Trommelfell einwärts und die Steigbügelmuskel den Steigbügel gegen das ovale Fenster; die Schallwelle trifft dann nicht bloß das mehr elastische Trommelfell, sondern sie gelangt auch durch lauter feste Körper, gleichsam durch Ein Mittel, bis zum Labyrinth, und erleidet daher jene Schwächung nicht, die stets eintritt, wenn der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen muß. Um einen starken Schall ohne Nachtheil zu empfinden, ziehen die Erschlaffer das Trommelfell auswärts und dadurch den Steigbügel vom ovalen Fenster zurück, so daß nun die Schallwelle nicht bloß ein schlaffes Häutchen trifft, sondern auch noch von den Knöchelchen in die Luft und von dieser wieder in einen festen Körper übergehen muß, um ins Labyrinth zu gelangen. Daher kann ein solcher Schall dem Gehörorgane durch seine zu große Intensität nicht gefährlich werden, wenn er dasselbe nicht etwa unvorbereitet überrascht. Die in der Trommelhöhle befindliche Luft bewirkt durch ihre unveränderliche Temperatur, daß alle Theile dieselbe Elasticität behalten und das Ohr die schon einmal wahrgenommenen Laute wieder erkennt; es scheint auch, als diene sie zum Mittönen, wie die in einem Resonanzkasten eingeschlossene Luft. Im Labyrinthe befindet sich die Schallwelle in einer tropfbaren Flüssigkeit, die den neuesten Erfahrungen gemäß (345 Anm.) selbst zu tönen vermag, und erfährt beim Fortgang durch die Bogengänge, welche eine heberförmige conische Röhre formiren, deren Scheitel nach einwärts gekehrt ist, eine Verstärkung, geht aber von dieser Flüssigkeit unmittelbar in den Nerv über, welcher in derselben schwimmt, sich unmittelbar an sie anschließt, und daher jene Continuität des Fortpflanzungsmittels bewirkt, die zur Erhaltung einer gewissen Schallstärke unerläßlich ist.

Auf dem hier vorgezeichneten Wege gelangt zwar die schwingende Bewegung in der Regel zum Gehörnerv, allein sie kann auch durch die festen Theile des Körpers dahin gelangen, ohne durch das äußere Ohr zu gehen. Man hört eine Stimmgabel, die man an die Zähne angesetzt, und Harthörige oder gar Taube können die Töne eines Claviers wahrnehmen, wenn sie einen Stab an dasselbe und zugleich an den Kopf halten.

369. Durch das Ohr vernimmt man eigentlich nur die Richtung und Stärke einer Reihe von Stößen, und die Geschwindigkeit, mit der sie auf einander folgen. Von der Richtung dieser Stöße hängt unser Urtheil über die Lage des schallenden Körpers ab, welches daher, wenn nicht andere Punkte darauf Einfluß nehmen, stets unrichtig ausfallen muß, so oft ein Schallstrahl auf seinem Wege von der geraden Richtung abgelenkt wird; daher es schwer ist, in einem Walde die Quelle eines bestimmten Schalles zu finden, und hierüber so leicht Irrungen Statt finden können. Die Stärke der Stöße bestimmt bei gleicher Empfänglichkeit des Organs die Intensität des Schalles, und alles, was jene Stärke modificirt, bringt auch eine Aenderung in dieser hervor. Die Zeit, in welcher dieselben Stöße periodisch wiederkehren, bestimmt die Tonhöhe. Doch würden selbst die schnellsten Schwingungen keinen anhaltenden Ton erzeugen können, wenn die Empfindung nicht die Stöße überdauerte und so gleichsam einen Stoß mit dem andern verbände. Es ist überhaupt zur Entstehung eines vollen anhaltenden Tones unerläßlich, daß die auf das Gehörorgan geschehenden Eindrücke bis auf eine bestimmte Grenze in einander fließen. Erfolgen mehrere Systeme von Stößen zugleich, so bringen sie eine desto willkommenere Empfindung hervor, in je einfacheren Zeitverhältnissen sie wiederkehren, etwa so, wie die von zwei verschiedenen Individuen zugleich verübten Hammerschläge sich besser anhören lassen, wenn die Intervalle, die jedes einzeln beobachtet, mit einander commensurabel sind, als wenn dieses nicht der Fall ist und nie zwei Schläge vollkommen zusammentreffen. Ein einfaches Verhältniß dieser Art wird als Consonanz, ein complicirtes als Dissonanz wahrgenommen. Daß aus dem gleichzeitigen periodischen Zusammentreffen zweier Stöße ein dritter Ton hervorgehen kann, ist schon gesagt worden. (Purkinje in Kast. Arch. 7. 39. Muncke ebendas. 7. 1. Home in Gilb. Ann. 44. Savart in *Ann. de Ch.* 2c. 25. 5. Sömmering's Abbildung des menschlichen Hörorgans. Frankfurt, 1805.)

Um Zuhörern von den einzelnen Theilen des Gehörorgans deutliche Vorstellungen zu verschaffen, leisten die in Dresden unter Hofrath Seiler's Leitung von Papaschny verfertigten, die Naturgröße weit übertreffenden Gipspräparate vortreffliche Dienste.

Ueber dieses Kapitel ist vorzüglich zu empfehlen und als Repertorium von Chladni's akustischen Entdeckungen anzusehen: Chladni's Akustik. Leipzig, 1802. 4. Desselben neue Beiträge zur Akustik. Leipzig, 1817. 4. Noch vortrefflicher ist die von ihm selbst veranstaltete französische Bearbeitung: *Traité d'Acoustique par E. F. Chladni. Paris*, 1809. Kurze Uebersicht der Schall- und Klanglehre nebst einem Anhange, die Entwicklung und Anordnung der Tonverhältnisse betreffend, von E. F. Chladni, Mainz, 1827. Viel Lehrreiches enthält Webers Wellenlehre, zweiter Haupttheil.

Naturlehre.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erster Abschnitt.
Licht.

Erstes Kapitel.
Das Licht überhaupt.

1. Wenn die Sonne unter dem Horizonte steht, Wolken die Gestirne verbergen und auch kein künstliches Licht vorhanden ist; so sind wir von der Sinnenwelt, mit der wir nicht unmittelbar durch Berührung in Verbindung stehen, völlig abgeschnitten. Das **Licht** ist es also, durch welches wir Vorstellungen von entfernten Gegenständen bekommen und das uns den größten Theil der Schöpfung kennen lehrt. Es wäre die Wohlthat desselben schon unermeßlich, wenn es auch nur dazu diente, Gegenstände sichtbar zu machen; aber es bringt noch viele andere Wirkungen hervor. Das herrliche Farbenspiel der im tropischen Himmelsstriche wachsenden Pflanzen, welches sie dem intensiveren Sonnenlichte verdanken müssen, weil sie es verlieren, wenn ihnen das Licht entzogen wird; der Verlust der schönen grünen Farbe vieler Gewächse, wenn man sie mit undurchsichtigen Körpern bedeckt; der Umstand, daß sich die in Zimmern gezogenen Pflanzen stets nach der lichteren Seite wenden, ja sogar Knie machen, um dem Lichte zu begegnen; daß Menschen alle Lebensfülle und das Roth der Gesundheit einbüßen, wenn sie in dunklen Oertern wohnen 2c., beweisen sattsam den Einfluß des Lichtes auf das Gedeihen der organischen Welt. Vorzüglich wichtig sind die chemischen Veränderungen, welche das Licht, und zwar besonders das intensivste unter allen, das Sonnenlicht, an verschiedenen Körpern hervorbringt. Es verwandelt die Salpetersäure in salpetrige Säure und färbt sie daher roth oder gelb, scheidet Gold aus seinen Verbindungen theils in metallischer Gestalt, theils als niederes Oxyd, stellt Silberchlorid entweder zu metallischem Silber her oder schwärzt es, es röthet den Phosphor, bewirkt an einem Gemische aus gleichen Theilen Wasserstoffgas und Chlorgas eine Verpuffung, bleicht endlich und zerstört die meisten Farben 2c. 2c. Im Allgemeinen werden oxydirte Körper durch das Licht wieder in ihren natürlichen Zustand zurückgeführt, wobei meistens der Sauerstoff als Gas erscheint. Viele Wirkungen des Sonnenlichtes kommen aber auf Rechnung seiner erwärmenden Kraft, und müssen daher wohl von den anderen unterschieden werden, bei denen das Licht als solches wirksam ist. (**Suckow**, über die chemischen Wirkungen des Lichtes. Darmstadt, 1832. **Landgrebe** über die chem. und physiol. Wirk. d. Lichtes. Marburg 1834.)

2. Das Licht ist durch keinen Sinn wahrnehmbar, es macht uns zwar andere Gegenstände sichtbar, kann aber selbst nicht gesehen werden; wir kennen zwar seine Gesetze ziemlich genau, aber über seine Natur bedürfen wir noch mancher Aufschlüsse, und man muß sich vor der Hand mit hypothetischen Voraussetzungen darüber begnügen. Ihren wahren Werth vermag man aber erst dann zu beurtheilen, wenn man mit den Gesetzen des Lichtes vertraut ist und es versucht, dieselben daraus auf theoretischem Wege abzuleiten. Darum soll vorläufig nur von jenen Gesetzen die Rede seyn, jede weitere Discussion über die Natur des Lichtes aber verschoben werden, und wenn der Abkürzung wegen vom Ausströmen des Lichtes, von Lichtstärke rc. die Rede ist, so bezieht sich dieses nicht auf irgend eine Ansicht über das Wesen des Lichtes, sondern es sind dieses nur bildliche Ausdrücke über die Verbindung der Körper mittelst des Lichtes.

3. Die Quelle des Lichtes sind die selbstleuchtenden Körper. Diese sind nämlich an sich sichtbar, und brauchen nicht, wie die dunklen, zu ihrer Sichtbarkeit die Gegenwart eines andern, der ihnen Licht zusendet. Selbstleuchtende Körper sind: die Sonne, die Fixsterne, vielleicht auch die Cometen, ferner die brennenden und phosphorescirenden Körper. Es ist bekannt, daß dunkle Körper selbstleuchtend werden können, daß Holz und manche andere Pflanzenstoffe erst leuchten, wenn sie faulen, eben so daß manche Körper durch Erwärmen, Stoßen, Reiben, Schlagen rc. Licht geben, und daß einige (die sogenannten Lichtsauger) erst leuchten, wenn sie einige Zeit lang dem Sonnenlichte ausgesetzt waren.

Faules Holz, todte Seefische, die Johanneswürmchen, die Johanneskäfer, der Surinamische Laternenträger rc. phosphoresciren von selbst; der Bologneser Leuchtstein (zerstoßener und durch Tragant zu Pasten geformter, gebrannter Schwerspath), verschiedene Kalksalze, besonders Schwefelkalk, auch Schwefelstrontian, Schwefelbaryt, Flußspath, arsensaures Kali mit salpetersaurem Baryt geglüht, leuchten nach kurzer Bestrahlung durch Sonnenlicht, besonders wenn sie erwärmt werden; Diamanten leuchten beim Reiben mit Wolle, zwei Kiese geben beim Zusammenschlagen Funken und beim Reiben einen Lichtschein rc. (Heinrich über die Phosphorescenz. Nürnberg, 1811 — 1820; Schweigg. J. 14. 135; Kast. Arch. 5. 88. Zeitsch. 2. 80; Pogg. Ann. 33. 405; Gehlers n. Wörterb., Artikel: Licht.)

4. Einige Körper sind vom Lichte durchdringlich, und solche hindern daher die Sichtbarkeit eines Gegenstandes nicht, wenn sie sich zwischen demselben und dem Auge befinden. Man nennt sie durchsichtig, wie z. B. Luft, Glas, Wasser. Andere lassen das Licht nicht hindurch und halten daher das von einem Objecte zum Auge gehende auf; sie werden undurchsichtig genannt. Kein Körper läßt alles auf ihn fallende Licht durch, und keiner ist daher absolut durchsichtig, und selbst der durchsichtigste wird in dicken Schichten undurchsichtig, gleichwie der undurchsichtigste in dünnen Schichten wenigstens durchscheinend ist.

5. Ein undurchsichtiger Körper hindert die Sichtbarkeit eines an-

deren nur dann, wenn er sich in der geraden Linie befindet, welche vom Auge zum zu sehenden Gegenstande geht. Daher erfolgt die Wirkung des Lichtes in gerader Linie, und diese Linie heißt ein Lichtstrahl. Ein leuchtender Punkt sendet Licht nach allen Seiten aus, und ein dunkler, demselben gegenüberstehender Körper empfängt daher, wenn kein undurchsichtiger im Wege steht, eine Lichtpyramide, deren Spitze im leuchtenden Punkte liegt, und deren Seitenfläche jenen Körper ringsum berührt.

6. Römer entdeckte durch astronomische Beobachtungen, daß die Fortpflanzung des Sonnenlichtes nicht augenblicklich erfolge, sondern daß es in 1 Sec. ungefähr 42,000 Meilen zurücklege. Man weiß nämlich, daß der Planet Jupiter 4 kleine, unserm Monde ähnliche Begleiter (Trabanten) habe, von denen der ihm nächste in etwa 42 Stunden einen Umlauf macht, und jedesmal in den Schatten des Planeten tritt, mithin verfinstert wird. Das Zeitintervall, welches vom Anfange einer solchen Verfinsterung bis zum Anfange der nächsten verfließt, und eben so jenes, welches die Enden zweier unmittelbar auf einander folgenden Verfinsterungen trennt, nimmt fortwährend ab, wenn sich die Erde in ihrer jährlichen Bewegung dem Jupiter nähert, und wächst hingegen, wenn sich die Erde vom Jupiter entfernt. Diese Abweichung der Bewegung des Trabanten von der Regelmäßigkeit des Umlaufes um den Jupiter ist nur scheinbar, und läßt sich aus der Annahme vollkommen genügend erklären, daß das auf den Trabanten fallende Sonnenlicht in dem Verhältnisse weniger oder mehr Zeit brauche, um von diesem zur Erde zu gelangen, als die Erde ihm näher oder von ihm entfernter steht. Die Summe der Beschleunigungen der Finsternisse während die Erde von dem größten Abstande vom Jupiter bis zum kleinsten fortschreitet, entspricht einem Zeitintervall von mehr als 16 Minuten, d. h. um diesen Zeitbetrag würde man die letzte Verfinsterung später wahrgenommen haben, wenn die Erde stets in der größten Entfernung vom Jupiter geblieben wäre; dieser Zeit bedarf also das Licht um den Durchmesser der Erdbahn zu durchlaufen, woraus die oben angegebene Geschwindigkeit desselben folgt. (*Roemeri Basis Astronomiae. Hauniae* 1735. *p.* 121. Littrow's Wunder des Himmels. Stuttgart 1837. S. 112.)

7. Sowohl die geradlinige Fortpflanzung als die Bewegung mit einerlei Geschwindigkeit findet nur so lange Statt, als sich das Licht in demselben Mittel befindet; ändert es aber das Mittel, so erleidet es beim Uebergange eine Aenderung der Geschwindigkeit, woraus meistens eine Aenderung der Richtung und der Intensität hervorgeht. Es kehrt nämlich ein Theil eines Strahls an der Grenze zweier heterogenen Mittel in das alte zurück und wird reflectirt, der andere dringt ins neue Mittel ein. Geschieht dieses in schiefer Richtung gegen die Grenze der Mittel, so ändert letzterer seine Richtung, d. h. er wird gebrochen. Das reflectirte Licht ist es, durch welches dunkle Körper gleich den selbstleuchtenden sichtbar werden.

8. Durch die Reflexion und Brechung des Lichtes können Strah-

len, die von einem leuchtenden Punkte herkommen, wieder völlig oder nahe in einem Punkte vereiniget werden, so daß sie von diesem wie von der Lichtquelle selbst ausgehen. Dem Auge erscheint daselbst das Bild des leuchtenden Punktes, weil es denselben Eindruck erfährt, als gingen die Strahlen ursprünglich von diesem Punkte aus. Auf gleiche Weise können Bilder von leuchtenden Gegenständen entstehen, denn jedes solche ist nur der Inbegriff der Bilder aller einzelnen Punkte. Diese Bilder haben desto mehr Klarheit (Helligkeit), je mehrere Strahlen zur Entstehung des Bildes jedes einzelnen Punktes beitragen und ins Auge gelangen, und desto mehr Deutlichkeit, in einem je engeren Raume sich die von einem Punkte des Objectes ausgehenden Strahlen wieder vereinigen. Treffen sie genau in einem Punkte zusammen, so hat das Bild von dieser Seite die größte Deutlichkeit.

Wie sehr die Deutlichkeit der Bilder von der Größe des Raumes abhängt, innerhalb welchem sich die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen vereinigen, zeigt vorzüglich die sogenannte optische Kammer, d. i. ein verfinstertes Gemach, in welches die von gegenüberstehenden, beleuchteten Gegenständen ausfahrenden Strahlen nur durch eine kleine, runde Oeffnung eindringen können. Jeder Punkt dieser Gegenstände sendet einen Strahlenkegel durch die Oeffnung, und die Basis dieses Kegels stellt auf einer der Oeffnung gegenüberstehenden Wand sein Bild vor. Dieses ist offenbar bei einerlei Entfernung der Wand von der Oeffnung desto kleiner, je kleiner die Oeffnung ist, und in dem Verhältnisse, in welchem man die Oeffnung verkleinert, wächst die Deutlichkeit der Bilder. Wenn die Oeffnung sehr klein und ihr die Wand sehr nahe ist, hat die Deutlichkeit der Bilder schon einen bedeutenden Grad erreicht; ein Beweis, daß es für unser Auge schon hinreichend sey, wenn die Strahlen, welche ein Punkt liefert, in einem kleinen Raume zusammentreffen.

9. Dunkle Stellen in einem beleuchteten Raume, von welchem das Licht durch einen undurchsichtigen Körper abgehalten wird, heißt man Schatten, gänzliche Abwesenheit des Lichtes nennt man Finsterniß, wiewohl man einen Raum oft schon für finster hält, wenn es ihm an der zum klaren Sehen nöthigen Erleuchtung fehlt. Hat der leuchtende Körper eine merkliche Ausdehnung, wie z. B. die Sonne, der Mond 2c.; so gibt es hinter einem undurchsichtigen Körper, der von jenem beleuchtet wird, außer dem Raume, in welchen gar kein Strahl unmittelbar gelangen kann, und den man Kernschatten nennt, auch noch einen solchen, der nur von einigen Punkten des leuchtenden Körpers unmittelbar Licht empfängt. Diesen nennt man Halbschatten. Im Allgemeinen erhalten nur jene Punkte des Halbschattens, welche gegen den leuchtenden und gegen den beleuchteten Körper einerlei Lage haben, Licht von gleicher Intensität, und dieses nimmt an jedem Querschnitte des Halbschattens gegen den Kernschatten hin durch alle Zwischenstufen ab. Beide Schatten gehen also stetig in einander über, so daß man ihre Grenze nie genau angeben kann. Ist z. B. AB (Fig. 174) eine leuchtende, CD eine beleuchtete Linie, so ist CED der Kernschatten, ECx und EDy sind Halbschatten.

Da der Schatten durch die Strahlen begrenzt wird, welche am äußersten Rande des beleuchteten Körpers vorbeifahren; so muß seine Gestalt, Lage und Größe von der Gestalt und Größe des leuchtenden und beleuchteten Körpers und von ihrer gegenseitigen Entfernung abhängen, übrigens für jeden gegebenen Fall mathematisch bestimmt werden können. Man ersieht hieraus zugleich, daß man von der Größe des Schattens auf die des beleuchteten Körpers, ja sogar von der Bewegung des einen auf die Bewegung des andern einen Schluß machen, und daher den Schatten zur Bestimmung der Dimensionen oder Bewegung eines Gegenstandes benützen könne. (Silhouettiren, chinesisches Schattenspiel. Bestimmung der Höhe eines Baumes, Thurmes rc. mittelst seiner Schattenlänge.) Der Schatten erscheint durch Contrast desto dunkler, je stärker der ihn umgrenzende Raum erleuchtet ist; daher verursacht das stärkste Licht den dunkelsten Schatten. Daß uns Nachts bei einem sparsamen Kerzenlichte die Schatten dunkler erscheinen, als bei Tage, wo das unendlichemal stärkere Sonnenlicht scheint, das kommt davon her, daß eigentlich am Tage fast kein Kernschatten vorhanden ist, indem der Schatten eines Körpers in den beleuchteten Raum eines anderen fällt.

Zweites Kapitel.

Reflexion des Lichtes.

10. Das Licht, welches an der Grenze zweier Mittel gleichsam umkehrt und ins alte Mittel zurückgeht, ist entweder zerstreutes oder regelmäßig reflectirtes Licht. Durch ersteres wird uns der Körper, an dessen Grenze die Zerstreuung erfolgt, selbst sichtbar, als wäre er ein leuchtender, durch das letztere sehen wir ein Bild desjenigen, der das Licht auf jenen Körper sendet. Eine Reflexion tritt jedesmal ein, wenn ein Lichtstrahl an die Grenze zweier optisch ungleichartigen Mittel gelangt; ob aber eine regelmäßige Reflexion oder eine Zerstreuung des Lichtes Statt findet, das hängt bloß von der Rauheit und Glätte der vom Lichte getroffenen Fläche ab. Dieses sieht man daraus, daß jeder Körper, der im rauhen und unpolirten Zustande bloß selbst sichtbar ist, alsogleich statt seiner das Bild desjenigen gibt, von dem das Licht auf ihn fällt, wenn seine Oberfläche polirt wurde. Körper, die durch reflectirtes Licht die Bilder der Gegenstände zeigen, von denen sie beleuchtet werden, heißen Spiegel. Sie müssen offenbar die auffallenden Strahlen in derselben Ordnung reflectiren, in welcher sie auffielen; denn sonst könnte keine Empfindung in unserem Auge entstehen, als käme das Licht gerade vom leuchtenden Gegenstande her.

Ein vollkommener Spiegel kann nur das Bild der ihn beleuchtenden Gegenstände, aber nicht sein eigenes zeigen; allein es gibt in der Natur keinen solchen Spiegel. Schon die kleinsten Rauheiten der spiegelnden Fläche benehmen ihr einen Theil ihres Spiegelglanzes. Wird auf einen Metallspiegel eine Figur gezeichnet, hierauf die Zeichnung weggeschliffen und die Spiegelfläche wieder so weit hergestellt, daß man bei gewöhnlicher Beleuchtung keine Spur der Zeichnung bemerkt, so erscheint dieselbe doch auf einer Wand, wohin man starkes, vom Spiegel reflectirtes Licht gelangen läßt. (Pogg. Ann. 27. 485.) Am be-

sten spiegeln: Ruhig stehende Flüssigkeiten, weiße wohl polirte Metallplatten (aus Platin oder aus einer Mischung von Kupfer, Silber und Zinn) minder gut, aber doch zu manchen Zwecken hinreichend, wohl polirte, auf einer Seite geschwärzte Glasplatten oder gar Platten aus schwarzem Glase, die nur auf einer Seite polirt sind. Diesen stehen unsere gewöhnlichen Spiegel aus Glas, wovon eine Seite mit Zinnamalgam überzogen ist, weit nach, weil sie mehrere Bilder machen, die sich zum Theil decken, meistens erkennt man deren zwei (am besten an einer brennenden Kerze), wovon eines an der vorderen, das andere an der hinteren Glasfläche gebildet wird. In manchem Spiegel bemerkt man vier bis fünf und mehr solche Bilder.

11. Die Zurückwerfung des Lichtes erfolgt nach bestimmten Gesetzen, um die es sich hier handelt. Ist AB (Fig. 175) die tangirende Ebene der Trennungsfläche zweier ungleichartigen Mittel, C der Berührungspunkt, den der Strahl SC trifft, ferner CE senkrecht auf der Ebene AB, und CO die Richtung des reflectirten Strahls; so heißt C der Einfallspunkt, CE das Einfallsloth des Strahls SC, eine Ebene durch SC und CE die Einfallsebene, SCE der Einfallswinkel, OCE der Reflexionswinkel. Diesem nach geschieht die Reflexion des Lichtes immer nach den Gesetzen: 1) Daß der reflectirte Strahl in der Einfallsebene liegt; 2) daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist.

Von der Richtigkeit dieser Gesetze überzeugt man sich, wenn man einen Lichtstrahl durch eine sehr kleine Oeffnung in ein verfinstertes Zimmer leitet, ihn auf eine wohl polirte Fläche auffallen läßt, und mittelst eines genauen Instrumentes den Einfallswinkel mit dem Reflexionswinkel vergleicht. Wendet man diese Grundgesetze der Reflexion des Lichtes auf Spiegel von verschiedener Gestalt an; so findet man immer die Richtung der Lichtstrahlen nach der Reflexion, mithin den Ort, wo sie herkommen oder herzukommen scheinen, daher auch die Lage des Bildes, das sie erzeugen, und dessen Beschaffenheit. Mit den so gefundenen Resultaten stimmt die Erfahrung auf das genaueste überein, und liefert hierdurch einen ferneren Beweis für die Richtigkeit der eben erwähnten Reflexionsgesetze.

12. Es sey AB (Fig. 175) ein ebener Spiegel, S ein Punkt, der die Lichtstrahlen SA, SC, SD darauf sendet, von denen SA auf AB senkrecht steht. Man findet die Richtung der reflectirten Strahlen CO und DO′, wenn man in den Einfallspunkten C und D die Einfallslothe CE und DF errichtet, und $ECO = ECS$, $FDO' = FDS$ macht. Der Strahl SA wird offenbar in seiner eigenen Richtung zurückgeworfen, er heißt der Hauptstrahl, und wird in seiner Verlängerung AG von den verlängerten Strahlen OC und O′D geschnitten. Dieses mag von ersterem in s, von letzterem in s′ geschehen. Da ist nun wegen $AC = AC$, $SAC = sAC$ und $SCA = BCO = sCA$ das Dreieck ACS mit dem Dreieck ACs congruent, und deßhalb $AS = As$. Aus gleichen Gründen findet man $AS = As'$, woraus dann folgt: $As = As'$, d. h. alle reflectirten Strahlen scheinen von einem Punkte des Hauptstrahles hinter dem Spiegel herzukommen, der eben so weit hinter der Spiegelfläche liegt, als der leuchtende

Punkt sich vor derselben befindet. An dieser Stelle erscheint daher das Bild des leuchtenden Punktes. Steht vor einem Planspiegel ein leuchtender Gegenstand, so wird das Bild jedes einzelnen Punktes in der genannten Entfernung hinter dem Spiegel erscheinen. Die Bilder aller dieser Punkte zusammen geben das des Gegenstandes. Man sieht wohl leicht ein, daß dieses Bild in natürlicher Stellung und Größe erscheinen, und daß es an allen Bewegungen des abgebildeten Gegenstandes Theil nehmen muß. Macht eine gerade Linie am Gegenstande mit dem Spiegel einen Winkel von 45°, so macht diese mit der ihr entsprechenden Linie an dem Bilde einen rechten Winkel; steht aber ein Gegenstand auf dem Spiegel senkrecht, so hat sein Bild gerade die entgegengesetzte Lage. Ein bestimmter Punkt eines Gegenstandes wird mittelst eines ebenen Spiegels nur dann gesehen, wenn die vom Auge nach dem Bilde dieses Punktes gezogene gerade Linie die spiegelnde Fläche durchschneidet. Der Durchschnittspunkt gibt die Stelle des Spiegels an, von welcher die von genanntem Punkte ausgehenden Strahlen in das Auge gesendet werden. Es läßt sich leicht zeigen, daß ein verticaler Spiegel, in welchem ein aufrechtstehender Mensch sein Bild ganz übersehen soll, wenigstens die Hälfte der Höhe und Breite des Körpers desselben haben, und bei dem angegebenen Minimum der Dimensionen sich in einer bestimmten Stellung befinden müsse. Wird ein Spiegel bewegt, während der Gegenstand in Ruhe bleibt, so beträgt die Bewegung des Bildes das Doppelte jener des Spiegels. Auf den Gesetzen der Lichtreflexion an Planspiegeln beruhen mehrere wichtige physikalische Instrumente, wie z. B. der Heliostat, der Heliotrop, die verschiedenen Reflexionsgoniometer, der Spiegelsextant (Octant, Kreis) rc.

Der Heliostat ist ein Planspiegel, den man mit einem Uhrwerke in Verbindung setzen und dadurch so bewegen kann, daß die darauf fallenden Sonnenstrahlen, ungeachtet der Bewegung der Sonne, immer nach derselben Richtung erflectirt werden (Pogg. Ann. 17. 71.); Gauß's Heliotrop besteht aus zwei auf einander senkrechten, mit einem Fernrohre verbundenen Planspiegeln, deren einer dazu dient, das Sonnenlicht nach einem bestimmten, weit entfernten Punkte hinzuwerfen, so daß man daselbst den Spiegel hell erleuchtet sieht, der andere aber, um dem ersteren die zu seinem Zwecke nöthige Stellung zu geben. Es werden nämlich die Sonnenstrahlen, welche auf diese Spiegel fallen, weil die Ebenen letzterer einen rechten Winkel bilden, nach parallelen und entgegesetzten Richtungen reflectirt, so, daß wenn man das Bild der Sonne mittelst des einen Spiegels an einem Orte sieht, die von dem andern Spiegel reflectirten Sonnenstrahlen nach diesem Orte gehen. Die Reflexionsgoniometer sind Instrumente, mittelst welchen man die ebenen Winkel der Krystalle durch reflectirtes Licht mißt. Sie beruhen im Allgemeinen darauf, daß, wenn eine Krystallfläche Licht in bestimmter Richtung reflectirt, das von einer anderen Fläche zurückgeworfene Licht nur dann genau dieselbe Richtung haben wird, wenn diese Fläche genau in die Lage der ersteren gebracht worden ist. Wird demnach die Richtung beobachtet, in welcher Licht von einer der zwei Krystallflächen, deren Neigung φ man wissen will, reflectirt wird, und dann der Krystall so weit um die betreffende Kante

gedreht, bis das von der zweiten Fläche zurückgeworfene Licht dieselbe Richtung hat, so weiß man, daß dieser Drehungswinkel $= 180° - \varphi$ ist, und hat man diesen gemessen, so ist auch φ gefunden. Das brauchbarste Instrument dieser Art hat Wollaston angegeben. (Gilb. 37. 357; 49. 191.) Mohs hat es sehr zweckmäßig abgeändert. Der Spiegelsextant dient zur Messung des Winkels, den die vom Auge nach zwei entfernten Punkten gehenden geraden Linien einschließen. Er besteht aus einem in Grade getheilten Bogen von 60°, auf dessen Ebene ein fixer, nur zur Hälfte belegter Glasspiegel A und in dessen Mittelpunkt ein um denselben beweglicher ganz belegter Spiegel B aufgestellt ist. Die spiegelnde Fläche des ersteren ist dem Auge zugekehrt, welches durch den unbelegten Theil desselben nach entfernten Gegenständen sehen kann; der zweite kehrt seine spiegelnde Fläche den Gegenständen zu, auf welche sich die Winkelmessung bezieht, und sendet nach Verschiedenheit seiner Stellung die von denselben ausgehenden Strahlen auf den Spiegel A, die dann von diesem durch abermalige Reflexion ins Auge gelangen. Stellt man den beweglichen Spiegel B so, daß man einen entfernten Gegenstand durch den unbelegten und im belegten Theile von A so sieht, als wäre der ganze Spiegel A unbelegt (in welchem Falle die Ebenen von A und B einander parallel sind), und wendet dann B dergestalt, daß das Bild eines zweiten Gegenstandes mit dem durch den unbelegten Theil von A gesehenen ersten Gegenstande coincidirt, so gibt das Doppelte des Winkels, um welchen B gedreht wurde, welchen man mittelst eines mit B fest verbundenen Lineals am Gradbogen abliest, den Winkel der nach beiden Gegenständen gezogenen Linien an. Mit einem Sextanten kann man unmittelbar nur Winkel messen, die 120° nicht überschreiten; ein Spiegelkreis gestattet auch die Messung größerer Winkel. Das Zauberperspectiv, der Opern- und Ballgucker beruhen auch auf den Gesetzen der Reflexion des Lichtes, haben aber bis jetzt keine ernste Anwendung gefunden.

13. Wenn die von einem Spiegel reflectirten Strahlen auf einen zweiten Spiegel auffallen, so werden sie natürlich so von ihm zurückgeworfen, als wenn sie von einem Gegenstande kämen, der sich an der Stelle des Bildes im ersten Spiegel befindet; dasselbe geschieht mit den vom zweiten Spiegel reflectirten Strahlen, wenn sie auf einen dritten auffallen, und so fort. Steht daher ein Gegenstand zwischen zwei parallelen Spiegeln, so entsteht von ihm durch wiederholte Reflexionen eine unendliche Anzahl Bilder, wovon aber nur die ersteren eine solche Lichtstärke haben, daß sie gesehen werden können. Sind die Ebenen der Spiegel gegen einander geneigt, so geben sie von einem dazwischen stehenden Gegenstande nur eine endliche Anzahl Bilder; denn damit die vom ersteren Spiegel reflectirten Strahlen im zweiten ein Bild geben, muß eine vom Bilde im ersten Spiegel gegen den zweiten gezogene gerade Linie die spiegelnde Fläche des letzteren treffen, eine Bedingung, welche nur $(n - 1)$mal Statt findet, wenn der Neigungswinkel der Spiegel $\frac{360}{n}$ Grade enthält. Deßhalb geben solche Winkelspiegel von einem Gegenstande auch nur $(n - 1)$ Bilder. Diese erscheinen symmetrisch rings um die Axe der Spiegel und gewähren nicht selten einen sehr überraschenden Anblick, den man sich durch eine artige Vorrichtung, nämlich durch das sogenannte Kaleidoskop (Gilb. Ann. 59. 341.) verschaffen kann.

14. Die sphärisch gekrümmten Spiegel sind entweder Concav- oder Convexspiegel, je nachdem die hohle oder die erhabene Seite spiegelt. Es sey AB (Fig. 176) der Durchschnitt eines sphärischen Hohlspiegels, mit einer durch den Mittelpunkt C seiner Krümmung gelegten Ebene. Ist S ein leuchtender Punkt vor dem Spiegel in dieser Ebene, so wird er einen Lichtkegel auf ihn senden, wovon hier nur zwei Strahlen betrachtet werden sollen, nämlich der durch den Mittelpunkt C gehende SCD, und ein anderer SE. Da das Einfallsloth auf D der Halbmesser CD ist, so muß SCD nach DCS zurückgeworfen werden; diesen in sich selbst zurückkehrenden Strahl nennt man den Hauptstrahl des Punktes S. Der andere Strahl SE, zu dem das Einfallsloth EC gehört, bekommt durch Reflexion die Richtung EF, welche durch den Winkel CEF = CES bestimmt wird. Die Lage des reflectirten Strahles EF gegen den Hauptstrahl SD findet man, in der Voraussetzung, daß der Winkel DSE sehr klein ist, auf folgende Weise: Es sey CD = 2p, SD = a, FD = α. Da der Winkel SEF durch EC halbirt wird, so hat man im Dreiecke SEF

$$SE : FE = SC : CF.$$

Aber man kann, wegen der Kleinheit des Winkels DSE, ohne merklichen Fehler SE und SD ferner FE und FD als gleiche Linien behandeln, mithin auch SE = a und FE = α setzen; dem gemäß gibt diese Proportion

$$a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha,$$

mithin

$$a(2p - \alpha) = \alpha(a - 2p), \text{ oder } ap + \alpha p = a\alpha,$$

woraus durch Division mit $ap\alpha$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ folgt.}$$

Dieser Gleichung gemäß ist

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \text{ und } \alpha = \frac{ap}{a-p}.$$

Die so eben erhaltenen Resultate gelten für alle Strahlen, welche mit dem Hauptstrahle einen sehr kleinen Winkel bilden, d. h. für einen Lichtkegel von unendlich kleiner Dicke, dessen Axe der Hauptstrahl ist. Mehr divergirende Strahlen bekommen aber nach der Reflexion eine andere Lage gegen den Hauptstrahl, nur diejenigen unter ihnen, welche gegen den Hauptstrahl einerlei Neigung haben, treffen in diesem zusammen, denn die Lage des Punktes F, in welchem der Hauptstrahl SD von einem reflectirten Strahle EF durchschnitten wird, richtet sich nach der Größe des Winkels ESD. Aus obiger Proportion läßt sich zeigen, daß unter einerlei Umständen DF abnimmt, wenn E weiter von D wegrückt. Es wird daher EF von einem unendlich nahe liegenden in der Ebene ESD reflectirten Strahle oberhalb SD geschnitten; alle Durchschnittspunkte je zweier benachbarten in einerlei Ebene reflectirten Strahlen geben eine Linie von eigener Krümmung, die man caustische Linie nennt, und alle caustischen Linien zusammen bestimmen eine krumme Fläche, welche caustische Fläche heißt. Die herzförmige lichte Linie, die man innerhalb eines cylindrischen Glasgefäßes oder eines Ringes bemerkt, wenn diese Gegenstände stark beleuchtet sind, zeigt die Gestalt eines Durchschnittes dieser Fläche.

15. Aus der Gleichung $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$ leitet man leicht folgende Reflexionsgesetze für Hohlspiegel unter obiger Voraussetzung ab: 1) Für $a = \infty$ ist $\alpha = p$, d. i. Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Punkte auf den Hohlspiegel auffallen, mithin parallel sind, vereinigen sich nach der Reflexion im Hauptstrahle in einer dem halben Radius gleichen Entfernung vom Spiegel. Dieser Vereinigungspunkt paralleler Strahlen heißt **Brennpunkt** (focus), seine Entfernung vom Spiegel (Vereinigungsweite) **Brennweite**, weil man in diesem Punkte brennbare Körper mittelst des Sonnenlichtes anzünden kann, ein Umstand, der den Hohlspiegeln auch den Namen **Brennspigel** erworben hat. 2) Je kleiner a, desto größer wird α, d. i. je mehr sich der leuchtende Punkt dem Spiegel nähert oder je divergirender die Strahlen auffallen, desto mehr entfernt sich der Vereinigungspunkt der Strahlen vom Spiegel. Stets aber ist für $a > 2p$, $\alpha < 2p$, aber zugleich $\alpha > p$. 3) Für $a = 2p$, wird auch $\alpha = 2p$, mithin fällt der Vereinigungspunkt der reflectirten Strahlen mit dem leuchtenden Punkte zusammen, wenn sich letzterer im Mittelpunkte der Krümmung befindet. 4) Ist $a < 2p$ aber doch $a > p$, so ist $\alpha > 2p$, d. h. befindet sich der leuchtende Punkt innerhalb des Mittelpunktes der Krümmung, so fällt der Vereinigungspunkt der Strahlen außer diesen Mittelpunkt. 5) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, mithin vereinigen sich die Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehen, nach ihrer Reflexion erst in einer unendlich großen Entfernung vom Spiegel, d. h. sie werden gleichlaufend. 6) Wird $a < p$, so bekommt α einen negativen Werth, d. h. steht der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so werden seine Strahlen so reflectirt, als kämen sie von einem Punkte hinter dem Spiegel her, oder sie bleiben divergirend.

16. Die durch Reflexion zu einem Punkte vereinigten Strahlen gehen davon so aus, als wäre dort der ursprünglich leuchtende Punkt, man muß daher an dieser Vereinigungsstelle das Bild des leuchtenden Punktes sehen; ja selbst solche Strahlen, die durch Reflexion nur eine Richtung erhalten, als kämen sie von demselben Punkte her, wenn sie sich auch nie vereinigt haben, müssen in uns die Empfindung erregen, als wenn sie wirklich davon herkämen, und deßhalb sieht man auch in diesem scheinbaren Vereinigungspunkte ein Bild. Aus diesem folgt, daß durch einen Hohlspiegel immer ein Bild entsteht, wenn sich der leuchtende Punkt nicht in dem Brennpunkte befindet, und daß dieses Bild vor dem Spiegel erscheint, so lange der leuchtende Punkt außer der Brennweite ist, hingegen hinter demselben, wenn er sich innerhalb der Brennweite befindet. Daß durch diese Gesetze zugleich der Ort des Bildes eines ausgedehnten Gegenstandes gegeben ist, versteht sich wohl von selbst.

17. So lange das Bild eines Gegenstandes vor dem Hohlspiegel erscheint, ist es immer verkehrt; es wächst an Ausdehnung, so wie es sich vom Krümmungsmittelpunkte des Spiegels entfernt, und kann daher größer oder kleiner seyn, als der Gegenstand. Ist nämlich AB

(Fig. 177) der Durchschnitt eines Hohlspiegels, C der Mittelpunkt seiner Krümmung, DE ein leuchtender Gegenstand; so erscheint D in dem Punkte e des Hauptstrahles DCG, und E im Punkte d des Hauptstrahles ECF; die Bilder der zwischen D und E gelegenen Punkte liegen zwischen e und d, so daß de das ganze Bild von DE vorstellt, welches offenbar vor AB und verkehrt erscheint. Zur Bestimmung der Größe von de kann man ohne Fehler annehmen

$$de : DE = Cd : EC \text{ oder } \frac{de}{DE} = \frac{Cd}{EC}.$$

Sobald das Bild hinter dem Spiegel erscheint, ist es immer aufrecht und übertrifft den Gegenstand an Größe; denn für dieselbe Bedeutung von AB und C in Fig. 178, und unter der Voraussetzung, daß DE der innerhalb der Brennweite befindliche Gegenstand sey, erscheint das Bild d von D hinter dem Spiegel im Hauptstrahle CDd, und das von E im Punkte e des Hauptstrahles CEe, mithin ist de das ganze Bild von DE, es steht offenbar aufrecht und ist größer als DE. Von diesem kann man sich auch auf dem Erfahrungswege überzeugen, indem man eine brennende Kerze einem Hohlspiegel immer mehr und mehr nähert, und ihr Bild mit weißem Papiere auffängt.

18. Nimmt man in dem für einen Hohlspiegel entwickelten Ausdruck p negativ, d. h. schreibt man —p statt p, so entsteht daraus die Formel

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right),$$

aus der man die Lage des von einem Converspiegel reflectirten Strahles gegen seinen Hauptstrahl ableiten kann. Man ersieht daraus leicht, daß für jeden positiven Werth von a der Werth von α verneinend ausfällt, und daß daher Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte auf einen Converspiegel fallen, so reflectirt werden, als kämen sie von einem Punkte hinter dem Spiegel. In diesem Punkte erscheint daher das Bild jenes Punktes. Da α desto größer wird, je größer p und a ist, so muß die Entfernung dieses Bildes vom Spiegel desto größer ausfallen, je weiter der leuchtende Punkt vom Spiegel entfernt und je größer der Krümmungshalbmesser des Spiegels ist.

19. Das Bild eines leuchtenden Gegenstandes in einem Converspiegel muß diesem gemäß auch hinter der Spiegelfläche entstehen. Es erscheint aufrecht und verkleinert; letzteres desto mehr, je näher es am Centrum des Spiegels erscheint. Denn ist AB (Fig. 179) ein Durchschnitt eines Converspiegels, C der Mittelpunkt seiner Krümmung, DE ein leuchtender Gegenstand, und erscheint das Bild von D im Punkte d des Hauptstrahles DC, das von E im Punkte e seines Hauptstrahles EC; so kann de das Bild von DE vorstellen, und man kann die Proportion annehmen

$$de : DE = dC : DC.$$

20. Mehr zur Unterhaltung als zum wissenschaftlichen Behufe hat man cylindrische und conische Spiegel. Erstere können der Höhe nach als ebene, der Breite nach als convexe oder concave

Spiegel angesehen werden, je nachdem die erhabene oder hohle Fläche des Cylinders spiegelt, und deßhalb erscheinen in ihnen die Bilder der Gegenstände in natürlicher Länge, aber in verjüngter oder vergrößerter Breite. Conische sind der Höhe nach plan, der Breite nach aber convex, und zwar gegen die Spitze des Kegels immer mehr; daher erscheinen in ihnen die Bilder in natürlicher Höhe, aber mit stets nach oben zu abnehmender Breite. Es ist begreiflich, daß, so wie durch diese Spiegel die Bilder wohl proportionirter Gegenstände verzogen und verunstaltet erscheinen, die der nach einer gewissen Regel verunstalteten vom schönsten Bau gesehen werden können. Hierauf beruhen die sogenannten katoptrischen Anamorphosen. (Siehe: *Jac. Leupold anamorphosis mechanica nova.* Leipzig, 1714. Schmidt's analytische Optik. Göttingen, 1834. S. 296.)

Drittes Kapitel.

Gewöhnliche Brechung des Lichtes.

21. Wenn ein Lichtstrahl schief auf einen durchsichtigen Körper fällt, so wird (besondere Fälle, die erst später betrachtet werden können, ausgenommen) ein Theil desselben reflectirt, und geht in das vorige Mittel zurück, ein anderer Theil desselben aber geht (wenigstens im Allgemeinen) in den Körper hinein, und nimmt dabei eine von seiner ursprünglichen abweichende Richtung an. Diese Ablenkung von seiner Richtung heißt man die Brechung des Lichtes. Ist z. B. AB (Fig. 180, a und b) ein Durchschnitt der Einfallsebene des Strahles mit der Grenze zweier durchsichtigen Mittel, SCx der einfallende Strahl, DCE die in dem Einfallspunkte C auf AB errichtete Senkrechte (das Einfallsloth), Cy die Richtung des gebrochenen Strahles; so heißt ECy der Brechungswinkel. In vielen durchsichtigen Körpern mit krystallinischem Gefüge wird ein Lichtstrahl in zwei Büschel zertheilt, deren jeder nach eigenen Gesetzen gebrochen wird. Hier soll aber nur von jenen Gesetzen der Brechung die Rede seyn, nach denen sich das Licht in unkrystallinischen Substanzen richtet, dergleichen die Luftarten, das Wasser und andere tropfbare Flüssigkeiten, gleichförmig gekühltes Glas 2c. sind. Wenn ein cylindrischer Lichtbüschel in ein brechendes Mittel einfällt, so muß er offenbar wieder als solcher aus dem Mittel kommen, falls alle seine Theile gleich stark abgelenkt (gebrochen) werden; hingegen wird dieser Lichtbüschel divergirend werden, wenn einige seiner Theile mehr, andere weniger abgelenkt werden. Der Erfahrung zu Folge ist letzteres der Fall, man bemerkt aber diese Ungleichheit der Brechbarkeit nur dann, wenn der Strahl stark aus seiner ursprünglichen Richtung gebracht wird. In diesem Kapitel wird die Sache immer so betrachtet, als hätten alle Theile eines Lichtstrahles denselben Grad der Brechbarkeit, und wenn von numerischen Werthen der Brechbarkeit des Lichtes die Rede ist, so beziehen sie sich immer auf Strahlen von mittle-

rer Refrangibilität, mithin auf die Are des divergirenden Strahlenbüschels. Unter dieser Voraussetzung gelten für die gewöhnliche Brechung des Lichtes folgende Gesetze: 1) Der gebrochene Strahl liegt in der Einfallsebene, und rücksichtlich des einfallenden auf der entgegengesetzten Seite des Einfallslothes. 2) Für dasselbe brechende Mittel ist das Verhältniß zwischen den Sinussen des Einfalls- und Brechungswinkels beständig und unabhängig von der Neigung des einfallenden Strahles gegen das Einfallsloth. Ist daher der Einfallswinkel $DCS = a$, der Brechungswinkel $ECy = b$, so ist $\sin a : \sin b = n : 1$ oder $\frac{\sin a}{\sin b} = n$; wo n eine Zahl bedeutet, die immer denselben Werth hat, so lange sich das Mittel, aus welchem der Strahl kommt, und dasjenige, wohin er geht, nicht ändert. Man nennt sie den Exponenten des Brechungsverhältnisses für beide Mittel, oder kürzer den Brechungsinder auch den Brechungsexponenten. 3) Ist n der Brechungsinder für den Uebergang des Lichtes aus einem Mittel A in ein anderes B, d. h. verhält sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie $n : 1$, so ist für den Uebergang des Lichtes aus dem Medium B in A das Brechungsverhältniß $= 1 : n$, mithin der Brechungsinder $= \frac{1}{n}$, d. h. der reciproke Werth desjenigen, der bei dem umgekehrten Gange des Lichtes Statt findet. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß bei dem Durchgange des Lichtes durch einen von parallelen Ebenen begrenzten Körper, welcher beiderseits von einerlei Mittel umgeben ist, der aus diesem Körper tretende Strahl stets dem eintretenden parallel ist. 4) Ist für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium A in ein anderes B der Brechungsexponent $= n$, und für den Uebergang von diesem Medium B in ein drittes C der Brechungsexponent $= m$, so besteht für den unmittelbaren Uebergang des Lichtes aus dem Medium A in C der Brechungsexponent mn. Auch dieses folgt aus der Erfahrung, daß ein Lichtstrahl, der durch zwei Schichten verschiedener Mittel, deren Grenzflächen parallel sind, von einem Medium ausgehend, wieder in dieses gelangt, seiner ursprünglichen Richtung parallel austritt. 5) Erhält für eine gewisse Größe des Einfallswinkels der Sinus des Brechungswinkels, in Folge des bestehenden Brechungsverhältnisses, einen die Einheit übersteigenden Werth, in welchem Falle der Brechungswinkel imaginär wird, so findet auch kein Uebergang des Lichtes in das zweite Mittel Statt, sondern dasselbe kehrt nach dem Reflexionsgesetze in das erste Medium zurück. Man sagt dann, das Licht erleide eine totale Reflexion. Da, wenn a der Einfalls-, b der Brechungswinkel, n der Brechungsinder ist, die Gleichung $\sin b = \frac{1}{n} \sin a$ besteht, und $\sin a$ nicht größer werden kann als die Einheit, so kann dieser Fall nur dann eintreten, wenn $n < 1$ ist. Dieß vorausgesetzt, wird bei einem Einfallswinkel, dessen Sinus

größer als n ist, $\sin b > 1$. Für $\sin a = n$ ergibt sich $\sin b = 1$, mithin $b = 90°$. Bei diesem Werthe von a, der die Grenze zwischen den Einfallswinkeln ist, bei welchen Brechung und totale Reflexion obwaltet, streift der gebrochene Lichtstrahl längs der Trennungsfläche der beiden Mittel hin. Wenn $n < 1$ ist, so ist stets $\sin b > \sin a$, mithin auch der Brechungswinkel b größer als der Einfallswinkel a (Fig. 180, b). In diesem Falle sagt man, die Brechung des Lichtes erfolge vom Einfallslothe, und das Mittel, aus dem das Licht kommt, breche dasselbe schwächer als jenes wohin es geht. Es findet demnach die totale Reflexion des Lichtes nur bei dessen Uebergang von einem schwächer brechenden Mittel in ein stärker brechendes Statt. Ist aber $n > 1$, mithin $a > b$ (Fig. 180, a), so heißt es, die Brechung des Lichtes erfolge zum Einfallslothe. Von zwei Mitteln, welche bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dritten Mittel in selbe, es beide zum Einfallslothe brechen, wird jenes das stärker brechende genannt, dem der größere Brechungsindex entspricht. Geschieht aber die Brechung vom Einfallslothe, so gehört dem stärker brechenden Mittel der kleinere Brechungsindex.

Bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in ein materielles Mittel erfolgt Brechung des Lichtes zum Einfallslothe; ein Gleiches geschieht bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Wasser, Glas ꝛc. Doch ist der Satz, den man ehemals häufig aussprechen hörte, »bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dünnen Mittel in ein dichteres werde es zum Einfallslothe, mithin bei dem Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres vom Einfallslothe gebrochen,« unrichtig, und kann nur zugelassen werden, wenn beide Mittel dieselbe materielle Beschaffenheit und einerlei Aggregationszustand haben, und ihre optische Heterogeneität lediglich der Verschiedenheit ihrer Dichte verdanken. Brennbare Körper zeichnen sich vor anderen durch ihr großes Lichtbrechungsvermögen aus, wie z. B. ätherische Oehle, Weingeist, Aether, Schwefelkohlenstoff, der Diamant, dessen Brennbarkeit darnach, ehe seine chemische Natur bekannt war, vermuthet wurde.

Die Größe $n^2 - 1$ ist es, welche die brechende Kraft oder das absolute Brechungsvermögen eines Mittels mißt, in so ferne der Bestimmung von n ein festgesetztes Mittel, aus welchem das Licht kommt, zum Grunde gelegt wird. Heißt d die Dichte, so wird $\frac{n^2 - 1}{d}$ als Maß des specifischen Brechungsvermögens des betreffenden Mittels angesehen. Die brechende Kraft eines Gases ist genau seiner Dichte proportionirt. Dasselbe gilt nach Dulong für Dünste, so lange sie noch weit vom Maximum ihrer Spannkraft entfernt sind, in der Nähe dieser Grenze aber wächst ihre brechende Kraft in einem größeren Verhältniß als ihre Dichte. Die Temperatur ändert das Brechungsvermögen eines Gases nicht, wenn sie nicht die Dichte afficirt. Die brechende Kraft eines gemengten Gases oder gemengter Dünste läßt sich aus den brechenden Kräften der einzelnen in dem Gemenge vorkommenden Körper berechnen; aber die brechende Kraft eines chemisch zusammengesetzten Gases steht in keiner bekannten Beziehung zu jener seiner Bestandtheile. (Biot und Arago in Gilb. Ann. 25. 345 und 365; 26. 36. Dulong in Pogg. Ann. 6. 373.)

22. Der Brechungsexponent und die Sinusse des Einfalls- und

Brechungswinkels hängen daher so innig mit einander zusammen, daß, wenn zwei dieser Größen gegeben sind, sich die dritte daraus bestimmen läßt. Man hat auch wirklich auf diesem Wege theils die Richtung des gebrochenen Strahles, theils den Werth von n in der oben angegebenen Bedeutung kennen gelernt. Zum letzteren Behufe mußte man dem Körper, für welchen n bestimmt werden sollte, eine Gestalt geben, bei welcher die Ablenkung des gebrochenen Strahles von der ursprünglichen Richtung, d. i. der spitze Winkel beider recht groß wird, um den Einfluß der stets beim Messen desselben vorfallenden Fehler auf das Resultat möglichst zu schwächen. Körper, die mit parallelen Flächen begrenzt sind, lassen sich dazu nicht brauchen, weil der austretende, gebrochene Strahl dem einfallenden parallel ist; ein dreiseitiges Prisma ist aber zu diesem Zwecke vorzüglich brauchbar. Es sey ABC (Fig. 181) ein Querschnitt eines solchen Prisma's, der auf der Axe desselben senkrecht steht, und es falle ein Strahl SD in der Ebene des Schnittes auf die Fläche AB. Ist ED das Einfallsloth und der Stoff des Prisma's von der Art, daß der Strahl in ihm zum Einfallslothe gebrochen wird, so kann DF den gebrochenen Strahl vorstellen. Dieser wird aber beim Austritte aus dem Prisma in F wieder gebrochen und zwar vom Einfallslothe FH, so daß er nach der zweiten Brechung die Richtung FG hat. Es ist nicht schwer, durch Rechnung den Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel SDE, dem brechenden Winkel ABC des Prisma's, dem Winkel GKx, den der gebrochene Strahl mit dem einfallenden macht, und den Werth von n zu finden. Um diese Größe für Flüssigkeiten zu bestimmen, wählt man ein hohles Prisma, das aus Glastafeln mit vollkommen parallelen Wänden besteht, füllt die Flüssigkeit ein und behandelt sie nun wie einen festen Körper. Bei der Prüfung von Gasen und Dünsten muß dieses Prisma mit einem Barometer und einem Thermometer in Verbindung stehen, um die Spannkraft und Dichte der Luft immer angeben zu können. Oft muß man aber auch die Dichte der Luft nach Belieben ändern können.

Ist für irgend ein Mittel der Werth von n bekannt, so ist es eine leichte Arbeit, für jeden gegebenen Einfallswinkel und für jede Gestalt der Oberfläche des brechenden Mittels die Richtung des gebrochenen Strahles anzugeben. So lassen sich viele Erscheinungen mit Leichtigkeit erklären, z. B. warum ein Gefäß minder tief erscheint, wenn es Wasser enthält, als wenn es leer ist, warum man einen ins Wasser getauchten Stab verkürzt oder gebrochen sieht, warum ein Gegenstand im Wasser größer und durch ein Rautenglas angesehen vervielfältigt erscheint. Auch folgende, sehr interessante Erscheinungen erklären sich aus den angeführten Brechungsgesetzen, besonders aus 2 und 4: Gießt man in ein gläsernes, schmales und ziemlich langes Gefäß Wasser, und hierauf mittelst einer bis auf den Boden des Gefäßes reichenden Röhre Schwefelsäure, die sich sehr langsam mit dem Wasser mischt, und daher Schichten bildet, welche von unten nach oben allmählich an Dichte abnehmen, und sieht hierauf durch die Flüssigkeit nach der Länge des Gefäßes auf einen leuchtenden Gegenstand; so bemerkt man

ihn doppelt. Dasselbe erfolgt auch, wenn man einen Gegenstand so ansieht, daß das Licht, welches von ihm ins Auge kommt, durch Luftschichten gehen muß, die durch ein glühendes Eisen oder durch einen von der Sonne beschienenen, schwarzen Körper verschieden erwärmt werden. Einen gleichen Grund hat auch das scheinbare Zittern der Gegenstände, welche man längs einem von der Sonne erhitzten Dache &c. ansieht.

Viertes Kapitel.

Analyse des Lichtes.

23. Denkt man sich in einem verfinsterten Zimmer eine äußerst kleine Oeffnung an einem Fensterladen, die als Punkt betrachtet werden kann, und nimmt man an, daß directes Sonnenlicht durch sie eindringe; so hat der von der Sonne kommende Lichtkegel seine Spitze an dieser Oeffnung, und von da an bildet sich im Zimmer ein zweiter umgekehrter Kegel. Wird dieser mit einer weißen Tafel aufgefangen, deren Ebene auf der Axe des Kegels senkrecht steht, so stellt sich der Durchschnitt beider als ein leuchtender Kreis dar, der als ein Bild der Sonne betrachtet werden kann, das so vielmal linear verkleinert erscheint, als seine Entfernung von der Oeffnung in der Distanz der Sonne von derselben enthalten ist. Hat aber die Oeffnung am Fensterladen eine merkliche Ausdehnung, und ist sie z. B. kreisrund, so dringen unendlich viele solche Lichtkegel ein, und geben zusammen ein Sonnenbild, dessen Halbmesser um den der Oeffnung größer ist, als im vorigen Falle. Es ist nicht an allen Punkten gleich stark erleuchtet, sondern an den Rändern mit einem Halbschatten umgeben. Stellt z. B. SS′ (Fig. 182) den Durchmesser der Sonne vor, ab den Durchmesser einer kreisrunden Oeffnung, AB eine weiße Tafel, auf welche das Sonnenlicht fällt; so darf man nur die geraden Linien Sac, Sbs′, S′as, S′bd ziehen, um einzusehen, daß in den Raum zwischen c und d von allen Punkten der Sonne Licht falle, und daß ds und cs′ im Halbschatten liegen.

24. Läßt man einen solchen Lichtkegel auf ein dreiseitiges durchsichtiges Prisma ABC (Fig. 183) fallen, dessen Axe horizontal steht; so erscheint statt des vorhin runden Sonnenbildes ein längliches, oben und unten abgerundetes, seitwärts von parallelen geraden Linien begrenztes Bild (Farbenbild, Spectrum), dessen Breite dem Durchmesser des vom ungebrochenen Lichte erzeugten Sonnenbildes gleichkommt, dessen Länge aber von dem Einfallswinkel des Strahles, vom brechenden Winkel des Prisma's und von dessen brechender Substanz abhängt. Es ist zugleich gefärbt und es zeigt sich darin, wenn man es seiner Länge nach betrachtet in jedem Querschnitte eine andere Farbenabstufung, welche sich in die daran grenzenden Farben allmälig verläuft. Ist die Kante des brechenden Winkels des Prisma's abwärts gekehrt, so erscheint der unterste Theil des Spectrums dunkelroth, von da an aufwärts findet man es heller roth, und allmälich durch eine Orange-

farbe ins Gelbe übergehend. Dieses wird nach oben zu immer mehr grünlich, endlich ganz grün. Die grüne Farbe nimmt weiter oben eine Beimischung von Blau an, und zieht sich gänzlich ins Lichtblaue hinüber, welches immer tiefer blau werdend, durch das Indigoblaue ins dunkelste Violett sich verliert, womit das Farbenbild sich endigt. Die Intensität des Lichtes ist an verschiedenen Stellen des Farbenbildes sehr verschieden, und im gelben Theile größer, als im grünen und rothen, und in diesem wieder größer als im blauen und violetten. Nach obiger Beschreibung sind daher in dem Spectrum sechs Hauptfarben bemerkbar, nämlich die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue und violette. Newton jedoch, dem wir die Untersuchung dieser Erscheinung vorzüglich verdanken, fand sich bewogen, um zwischen den Farben im Sonnenbilde und den sieben Tönen einer Octave eine Aehnlichkeit herauszubringen, sieben verschiedene Farben im Spectrum anzunehmen, und zwar die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue, indigoblaue und violette.

Um diese folgenreiche Erscheinung, welche zu den schönsten gehört, die die Physik aufzuweisen hat, in größter Reinheit und Farbenpracht hervorzubringen, bediene man sich eines ganz reinen Glasprismas mit vollkommen ebenen Wänden und einem brechenden Winkel von etwa 60°, stelle es so nahe als möglich an die Oeffnung, wozu man am besten eine nicht zu breite Spalte mit parallelen Rändern wählt, der man die Kante des brechenden Winkels parallel macht, und gebe dem bei heiterem Himmel einfallenden Sonnenstrahl mittelst eines Heliostates die schickliche Richtung, wenn er nicht für sich schon eine anwendbare Richtung hat, was, um seine Intensität ungeschwächt zu erhalten, immer am vortheilhaftesten ist.

25. Aus dieser Erscheinung folgt unmittelbar: 1) Daß ein Sonnenstrahl aus Theilen von verschiedener Brechbarkeit bestehe, indem offenbar die Strahlen bei r, dem rothen Anfang des Spectrums, viel weniger gebrochen werden als die bei v, dem violetten Ende. 2) Daß die Strahlen, deren Brechbarkeit um eine gewisse Größe verschieden ist, in uns die Empfindung verschiedener Farben erregen. Um diese Folgerung ganz sicher zu stellen, ließ Newton das Farbenbild, welches durch ein horizontal gehaltenes Prisma gebildet wurde, neuerdings auf ein vertical stehendes fallen. Waren die aufgestellten Sätze richtig, so mußte das neue Sonnenbild dasselbe Farbenspiel zeigen wie das erste, und wenn dieses vertical stand, wie rv in Fig. 184, und in r das rothe und in v das violette Ende hatte, so mußte jenes schief stehen wie r′v′, und in r′ roth in v′ violett erscheinen. Die Erfahrung entsprach dieser Voraussetzung auf das Genaueste, und bestätigte daher die Wahrheit obiger Sätze unwidersprechlich. Läßt man das Farbenbild auf eine Tafel A (Fig. 185) auffallen, die eine kleine Oeffnung hat, so wird der auf die Oeffnung fallende Theil des Farbenbildes durchgehen. Fängt man einen solchen Strahl mit einem zweiten Prisma B auf, so wird er wohl gebrochen und zwar desto mehr, je weiter er im Farbenbilde vom rothen Strahle absteht und sich dem violetten nähert, er erscheint aber mit derselben Farbe, wie

vor der zweiten Brechung. Man kann dieses als einen neuen Beweis für die vorhin angeführte Folgerung ansehen, und zugleich daraus die neue Wahrheit ableiten, daß ein Lichtstrahl des Spectrums, welcher die Eigenschaft hat, die Empfindung einer bestimmten Farbe zu erregen, diese Eigenschaft durch Brechung nicht verliere.

26. Im Lichte, das gefärbte Körper reflectiren, zeigt sich derselbe Zusammenhang zwischen Erregung einer bestimmten Farbenempfindung und dem Grade der Brechbarkeit, wie beim directen Sonnenlichte. Man überzeugt sich davon sehr leicht, wenn man auf eine weiße Tafel zwischen zwei parallelen Linien neben einander zwei Rechtecke malt, wovon z. B. eines roth, das andere grün ist. Sieht man sie mit einem dreiseitigen Prisma an, dessen brechender Winkel aufwärts gekehrt ist, so erscheint das grüne höher als das rothe, zum Beweise, daß die von jenem ausfahrenden Strahlen mehr als die von diesem kommenden gebrochen werden.

27. Man kann die Anzahl der verschieden brechbaren Strahlen, aus denen der unzerlegte Sonnenstrahl besteht, nicht angeben, sie ist unendlich groß; denn bestünde er aus einer endlichen Anzahl solcher Strahlen, so könnte das Farbenbild nicht mit parallelen Seitenwänden erscheinen, es würden sich die runden Bilder, die jeder einfache Strahl gibt, wohl zum Theile decken, müßten aber immer ein Farbenbild geben, an dessen Seiten man die kreisförmig gebogenen Einschnitte bemerken könnte, wie in Fig. 186. Diejenigen, welche behaupten, ein unzerlegter Sonnenstrahl bestehe aus sieben Strahlen von verschiedener Brechbarkeit, können darunter nur solche verstehen, die in uns die Empfindung wesentlich verschiedener Farben erregen. Allein selbst jene Strahlen, die im Allgemeinen nur eine Farbenempfindung erzeugen, bestehen aus verschieden brechbaren Theilen, weil jenes Licht, welches der rothen Grenze des Farbenbildes näher liegt, auch eine geringere Brechbarkeit hat, als das mehr davon entfernte. Die Erfahrung, daß man durch eine Mischung von Roth, Gelb und Blau, oder von Roth, Grün und Violett eine Farbe erzeugen kann, wie die des unzerlegten Sonnenstrahls, berechtiget keineswegs zu dem Schlusse, daß derselbe nur aus diesen Strahlen bestehe. Auch die neuestens von Brewster aufgestellte Behauptung, das Farbenbild bestehe aus drei gleich langen Bildern, einem rothen, gelben und violetten, die an verschiedenen Stellen verschiedene Intensitäten haben, und nach Maßgabe derselben durch ihre gleichzeitige Einwirkung auf das Auge die sechs bekannten Farben erzeugen, eine Behauptung, welche er auf die Erscheinungen gründet, die das Farbenbild darbieten soll, nachdem die Strahlen desselben durch verschiedene gefärbte Gläser gegangen sind, und hiedurch einiger Bestandtheile beraubt wurden, bedarf noch fernerer Beweise. (Pogg. Ann. 28. 386.) Läßt man vom weißen Lichte eine oder mehrere Farben weg, so bleibt eine andere übrig, die mit jenen das Weiß wieder herstellt. Solche Farben, die sich gegenseitig zu Weiß ergänzen, heißen complementäre Farben. Es läßt sich leicht einsehen, daß die complementäre Farbe von

Roth Grün, von Orange Blau, von Gelb Violett sey. Läßt man nämlich alles Roth, d. h. den eigentlich rothen Antheil, das Roth im Orange und Violett weg, so bleibt nur Gelb, Gelb, Grün, Blau, Blau, mithin als Resultat aller zusammengenommen Grün, und so von den übrigen Farben. (*Mayer comm. de affiniate colorum; in opp. ined. Goett.* 1775. Wünsch Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichtes. Leipzig, 1792.)

28. Man darf aber nicht glauben, daß das Licht eines Farbenbildes, welches man bei der Darstellung desselben auf vorhin genannte Weise in irgend einer Querlinie antrifft, schon gleichartiges Licht sey. Bei dem gewöhnlichen Verfahren steht selbst beim Gebrauche des besten Prisma's die Ausdehnung der Oeffnung am Fensterladen, und der dem Lichte dargebotenen Fläche des Prismas, wie auch die Größe des leuchtenden Körpers der Entwicklung homogener Farben im Wege. Diese Umstände machen nämlich, daß eine Art von Strahlen größtentheils in die nächst vorhergehende fällt, und mehrere farbige Strahlen unter einander gemengt erscheinen. Um sich den Anblick eines Farbenbildes zu verschaffen, bei welchem diese Mengung ungleichartigen Lichtes nicht Statt hat, lasse man das durch eine enge Spalte geleitete Licht auf ein gutes in solcher Entfernung aufgestelltes Prisma fallen, daß man die Spalte als eine leuchtende Linie betrachten darf, die unter sehr kleinen Winkeln divergirende Strahlen auf das Prisma sendet. Nach der Brechung durch das Prisma haben Strahlen von gleicher Brechbarkeit solche Richtungen, als würden sie von einer und derselben leuchtenden Linie direct ausgesendet; Strahlen von verschiedener Art aber scheinen von verschiedenen einander parallelen Linien auszugehen. Nimmt man nun diese Strahlen mit dem Auge auf, und gibt man dem Prisma durch Drehung um seine Axe eine solche Stellung, daß die Linien, von welchen die Strahlen herzukommen scheinen, in die Sehweite des Auges fallen, so sieht man, in so fern das Licht unendlich viele Strahlengattungen enthält, auch unendlich viele dicht an einander gestellte und daher von einander nicht trennbare Lichtlinien (Spaltenbilder), welche zusammen ein Farbenbild darstellen, das in jeder Querlinie gleichartiges Licht enthält. Mit großem Vortheile kann man hiebei dem Auge durch ein gutes Fernrohr zu Hülfe kommen. Ist letzteres so angeordnet, daß man ohne Prisma die Spalte deutlich sieht, so müssen die Bilder der Spalte in dieselbe Entfernung vom Prisma rücken, in welcher die Spalte steht, mithin das Prisma so stehen, daß die ein- und austretenden Strahlen mit den zugehörigen Seitenflächen einerlei Winkel machen, wornach es leicht ist, das Fernrohr und Prisma gehörig in Verbindung zu setzen.

29. Enthält das Licht, welches durch ein Prisma zerlegt wird, innerhalb der Grenzen seines Farbenbildes nicht Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit, sondern fehlen Strahlen von einer oder mehreren Farbenabstufungen im Farbenbilde, und hat man letzteres auf dem beschriebenen Wege so vorgerichtet, daß alles heterogene Licht darin gesondert ist; so muß sich an jeder Stelle, welche fehlenden Strahlen

entspricht, eine Lücke zeigen, die, je nachdem nur einzelne getrennte Strahlengattungen, oder ganze Reihen von unmittelbar an einander grenzenden Strahlen mangeln, als eine dunkle Linie oder als ein dunkler Streifen von meßbarer Breite wahrgenommen wird. Dieß ist bei dem Sonnenlichte, wie ein von Fraunhofer zuerst angestellter Versuch zeigt, wirklich der Fall. Stellt man nämlich in ein verfinstertes Zimmer ein Prisma mit vollkommen ebenen Wänden vertical vor das Objectivglas (d. i. vor jenes, welches man gegen das Object kehrt) eines guten Fernrohres, und läßt durch eine schmale aber hohe Oeffnung Sonnenlicht auf dasselbe fallen, bei einer solchen Anordnung des Fernrohres, daß man ohne Prisma die Oeffnung deutlich sieht, und einer solchen Stellung des Prisma's, daß die Strahlen es unter demselben Winkel verlassen, unter dem sie auffallen; so erblickt man in dem horizontal stehenden Farbenbilde unzählige starke und schwache verticale Linien, die dunkler sind, als der übrige Theil des Farbenbildes; einige davon sind sogar völlig schwarz. Diese Linien sind immer und zwar in derselben Ordnung vorhanden, aus was immer für einer Materie das Prisma besteht und was es für einen brechenden Winkel hat, nur nimmt ihre Stärke und ihre erkennbare Menge im Verhältnisse mit der durch den brechenden Winkel des Prisma's und die Vergrößerung, welche das Fernrohr gestattet, bedingten Größe des Farbenbildes ab und zu. Die vorzüglichsten derselben sind bei schicklicher Stellung des Prisma's sogar mit bloßem Auge gut wahrnehmbar. Bei diesem Versuche kann man auch den großen Unterschied in der Intensität der verschiedenfarbigen Strahlen viel deutlicher erkennen, als es an einem auf die gewöhnliche Weise erzeugten Farbenbilde möglich ist. Wenn man den blauen und violetten Theil recht bequem ohne Ermüdung des Auges ansehen kann, so hat der gelbe Antheil eine für das Auge unerträgliche Lichtstärke, und man muß die Oeffnung am Fenster verkleinern, um auch hier die zur Beobachtung passende Helligkeit zu Stande zu bringen. Nach Fraunhofer läßt sich die Lichtstärke der verschiedenen Farbenstellen im Spectrum durch folgende Zahlen ausdrücken: Aeußerstes Roth 32, Mitte desselben 94, Orange 640, zwischen Gelb und Orange 1000, Grün 480, Lichtblau 170, zwischen Blau und Violett 31, Mitte von Violett 5. 6.

Um sich in dem Farbenbilde des Sonnenlichtes, vorzüglich für Zwecke der practischen Optik mit Leichtigkeit orientiren zu können, hat Fraunhofer die an den merkwürdigsten Stellen befindlichen Linien vom rothen gegen das violette Ende hin mit den Buchstaben A, B, C ꝛc. bis I bezeichnet. A (Fig. 187) ist eine scharf begrenzte Linie nahe am Anfange des Spectrums im dunklen Roth. B und C sind scharfe schwarze Linien von merklicher Dicke im lichtern Roth. Zwischen A und B befindet sich ein Bündel a feiner Linien, die gleichsam einen Streifen bilden. D ist eine Doppellinie an der Uebergangsstelle von Orange in Gelb, E ist eine Gruppe feiner Linien im Grün, F eine starke Linie im Blau. Zwischen E und F, nahe bei E, erblickt man drei sehr starke Linien b, die zu den ausgezeichnetsten im Farbenbilde gehören. G ist eine Gruppe feiner Linien im tief Indigblau. Bei H im Violett steht ein merkwürdiger aus vielen feinen Linien und einer starken Mittellinie

gebildeten Streifen, und nahe dabei ein zweiter ähnlicher. Fraunhofer zählte von B bis H ungefähr 574 Linien. Brewster dagegen hat das Sonnenspectrum in mehr als 2000 deutlich wahrnehmbare Theile getheilt, worin sich dunkle Linien befinden. Ob aber Fraunhofer's Darstellung des Sonnenspectrums wirklich der Irrthümer beschuldigt werden könne, die ihm Brewster zur Last legt, bedarf einer weiteren Untersuchung (Pogg. Ann. 38. 58).

30. Es ist klar, daß man durch die Mittel, durch welche das Sonnenlicht zerlegt wird, auch das Licht anderer leuchtenden Körper analysiren kann. Fast alle geben ein Spectrum mit mehreren Farben, doch gibt es einige, die unmittelbar homogenes Licht aussenden. Läßt man das Licht eines brennenden Körpers, welches durch ein Prisma analysirt keine dunklen Linien im Farbenbilde zeigt, durch ein passendes farbiges Mittel gehen, bevor es auf das Prisma gelangt, so erscheinen dunkle Linien im Spectrum, und es ändert sich mit der Natur jenes Körpers und des farbigen Mittels die Anzahl, Lage und Beschaffenheit der dunklen Linien, oft bleiben ganze Farbenpartien aus.

Das Licht einer Flamme von sehr stark verdünntem Weingeiste ist nach Brewster ganz homogen gelb; und in allen Farbenbildern, die unvollkommen verbrennende Körper liefern, hat das gelbe Licht die Oberhand. Phosphor gibt mit Salpeter verbrannt ein Farbenbild, worin keine Farbe vorherrscht und keine durch dunkle Linien unterbrochen ist. Diesem ähnlich sind die Farbenbilder, welche glühender Kalk, Platin mehrere andere feste Körper geben. Schwefel gibt beim lebhaften Verbrennen fast lauter homogenes gelbes Licht; sobald aber die Heftigkeit des Verbrennens nachläßt, erscheinen im Farbenbilde blaue und grüne Streifen. Wird er mit Salpeter gemischt und angezündet, so gibt er ein Farbenbild, mit einer merkwürdigen rothen Linie, die außer der rothen Grenze des Spectrums liegt, und davon durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. Ihr Licht ist weniger brechbar, als der am wenigsten brechbare Theil des Sonnenlichtes. Sie scheint vom Kali herzurühren und allen Kalisalzen zuzukommen, gleichwie die Natronsalze einen gelben Streifen, gleich dem Lichte im Spectrum des Schwefels erzeugen. Brennendes Cyan gibt ein aus mehreren, beinahe gleich breiten, intensiven, durch dunkle Linien von einander getrennten Streifen bestehendes Spectrum; salpetersaurer Strontian zeigt ein Spectrum mit mehreren Unterbrechungen der Continuität und einer hellglänzenden, dunkelblauen, isolirten Linie. Im Farbenbilde vom gewöhnlichen Flammenlichte, das durch eine enge Spalte ging, zeigt sich zwischen Roth und Gelb ein lichter Streifen, der augenscheinlich von einem Ueberschusse homogenen gelben Lichtes herrührt, das von der Flamme ausgesendet wird, wodurch ein hervorstechendes gelbes Spaltenbild entsteht; ein ähnlicher, nur minder scharf begrenzter Streifen wird im Grün wahrgenommen. Im Lichte des Sirius zeigen sich drei breite Streifen, wovon einer im Grün, zwei im Blau sind. Castor gibt ein Farbenbild wie Sirius, Pollux gibt viele schwache, fixe Linien, noch mehrere Beteigenze, Procyon aber sehr wenige. Das Licht des Mars und der Venus hat viele Aehnlichkeit mit dem Sonnenlichte.

Stellt man zwischen eine Lichtflamme und die Spalte, durch welche das Licht derselben auf das Prisma fällt, eine Phiole, welche Joddampf oder Bromdampf enthält, so zeigen sich im Farbenbilde mittelst eines Fernrohres viele fast gleichweit von einander abstehende dunkle Linien; läßt man das Licht durch salpetrigsaures Gas gehen, so erscheinen zahlreiche dunkle Linien unregelmäßig im Spectrum vertheilt,

und den von Fraunhofer im Sonnenlichte nachgewiesenen ähnlich. Je dunkler gefärbt das Gas ist, desto größer wird die Anzahl dieser Linien. In einer geschlossenen Glasröhre erhitzt nimmt das Gas mit steigender Temperatur an Dunkelheit zu, und wird zuletzt, während es früher nur einzelnen Strahlensorten den Durchgang verwehrte, für alles Licht undurchsichtig. Diese interessanten Thatsachen wurden von Brewster entdeckt und von Miller erweitert (Pogg. Ann. 28. 385; 32. 128; 33. 233; 38. 52). Brewster fand zwischen den Linien im Spectrum des durch salpetrigsaures Gas geleiteten Lampenlichtes und jenen im Sonnenspectrum eine merkwürdige Uebereinstimmung. (Pogg. Ann. am ang. O.) Chlorgas löscht das Blau im Farbenbilde aus, man nimmt aber keine dunklen Linien darin wahr. Auf ähnliche Weise wirkt natürliches Operment. Sehr merkwürdig ist die von Brewster entdeckte Einwirkung des oxalsauren Chromoxyd-Kali's auf einen bestimmten Strahl im rothen Theile des Spectrum's, obgleich dieser Stoff im festen Zustande wie auch im Wasser gelöst, nach Maßgabe der Dicke der Schichte, die dem Lichte dargeboten wird, auf alle Theile des Spectrums absorbirend wirkt, und schon bei der kleinsten Dicke die gelben Strahlen bei D angreift. Es bildet sich nämlich bei Sonnen- und Lampenlicht in dem Raume B a eine feste dunkle Linie X so daß $BX = \frac{1}{3} Ba$. Die Leichtigkeit, diese Linie auch mit minder sorgfältig gearbeiteten Prismen darzustellen, empfiehlt sie zur Bestimmung des Brechungsvermögens durchsichtiger Körper in Bezug auf rothes Licht. (Pogg. Ann. 37. 315.) Das Entstehen dunkler Linien im Farbenbilde gewöhnlichen Flammenlichtes, nachdem dasselbe durch gefärbte Gase gegangen und durch selbe einiger Bestandtheile beraubt worden ist, scheint über das Vorhandenseyn der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenlichte Vermuthungen zu gestatten, als wären selbe das Resultat des Durchganges des Sonnenlichtes durch die Atmosphäre der Erde, was jedoch noch weiterer Untersuchungen bedarf. (*Herschel Treat. on Astr. p. 212*)

31. Verbindet man alles das, was in diesem Kapitel über das Licht gesagt wurde, so ersieht man daraus als unwidersprechliche Thatsachen: 1) daß sowohl das directe als reflectirte Sonnenlicht, wie auch das vieler anderer leuchtenden Körper, welches wir demselben Versuche unterwerfen können, aus heterogenen Strahlen bestehe, wovon einige brechbarer sind als die andern. 2) Daß jedem Strahle, der eine bestimmte Farbenempfindung erregt, eine bestimmte Brechbarkeit entspreche, so daß man wegen der innigen Verbindung dieser zwei Eigenschaften auch die Strahlen durch die Farben benennen kann, welche dem Grade ihrer Brechbarkeit entsprechen.

Aus diesem erklären sich leicht die Erscheinungen, welche man wahrnimmt, wenn man einen Körper durch ein Prisma ansieht, z. B. warum ein schwarzes Quadrat auf weißem Grunde an einem Ende roth, am anderen blau und violett erscheint; warum ein schmaler, weißer Papierstreifen durch das Prisma aus mehreren gefärbten, parallelen Streifen bestehend erscheint; warum sich ein breiter Streifen nur am Rande gefärbt, in der Mitte weiß zeigt u. s. w.

32. Wenn die Grenzen der einzelnen Farben im Spectrum genau bestimmt wären, so könnte man den Brechungsexponenten n für die äußersten Strahlen jedes Farbenstreifen finden und die Grenzen der Brechbarkeit angeben, innerhalb welchen jeder Strahl dieselbe Farben-

empfindung erzeugt. Dieses ist aber nicht der Fall; und es gibt in einem Spectrum vom Sonnenlichte nichts scharf Begrenztes und genau dem Orte nach Bestimmbares als die dunklen Fraunhofer'schen Linien. Darum kann man auch nur die den Stellen dieser Linien entsprechenden Brechungsexponenten mit Schärfe bestimmen. Ist a der Einfallswinkel eines Strahles bei dem Uebergange desselben aus einer durchsichtigen Substanz in die Luft, b′ der Brechungswinkel für die gelben, B und b derselbe für die violetten und rothen Strahlen; so ist die Ablenkung des gelben Strahles $= b' - a$; jene des violetten und rothen $B - a$ und $b - a$, und daher $B - b$ der Ablenkungsunterschied zwischen dem violetten und dem rothen, d. h. die Größe der Zerstreuung der äußersten Farben des Spectrums. Für kleine Werthe von $B - b$ kann man diese Größe mit $\sin B - \sin b$ vertauschen. Heißen demnach die reciproken Werthe der Brechungsexponenten für den violetten, rothen und gelben Strahl nach der Ordnung N, n und n′, welche mit den Werthen der Brechungsexponenten für diese Strahlen bei dem Uebergange aus der Luft in das zerstreuende Mittel übereinstimmen, so daß man hat: $\sin a : \sin B = 1 : N$; $\sin a : \sin b' = 1 : n'$ 2c.; so ist $\sin B = N \sin a$, $\sin b = n \sin a$ und daher die Zerstreuung der äußersten Strahlen

$$\sin B - \sin b = (N - n) \sin a.$$

Es ist daher diese Zerstreuung dem Unterschiede der Brechungsexponenten der betreffenden Strahlen in Bezug auf den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das zerstreuende Mittel proportionirt. Das Zerstreuungsverhältniß der äußersten Strahlen gegen die gelben ist offenbar

$$\frac{\sin B - \sin b}{\sin b' - \sin a} = \frac{(N - n) \sin a}{(n' - 1) \sin a} = \frac{N - n}{n' - 1}.$$

Dieser Ausdruck heißt das Zerstreuungsvermögen.

33. In Betreff der Farbenzerstreuung und ihres Zusammenhanges mit der Brechung des Lichtes in einem Mittel hat die Erfahrung Folgendes gelehrt: Wenn in demselben Mittel die Größe der Brechung etwa durch Aenderung der Dichte dieses Mittels vergrößert oder verkleinert wird; so wird auch in demselben Verhältnisse die Größe der Farbenzerstreuung größer oder kleiner, oder es ändert sich die Größe N in demselben Verhältnisse, in welchem sich n ändert. Dieses gilt aber nicht mehr, wenn sich die Natur des Mittels ändert. Ist in einem Mittel n größer als in einem anderen, so ist zwar auch N und $N - n$ in jenem größer als in diesem; aber es wachsen die Größen N und n nicht mehr in demselben Verhältnisse, d. h. es ändert sich die Farbenzerstreuung nicht in demselben Verhältnisse, in welchem sich die Brechung ändert. Es kann daher nicht von einer auf die andere geschlossen werden und jede muß durch eigene Versuche ausgemittelt werden. Das Zerstreuungsverhältniß zweier Mittel ist nicht für alle farbige Strahlen dasselbe, und man kann daher nicht, wenn dieses Verhältniß für irgend einen farbigen Strahl gegeben ist, davon auf das für einen anderen Strahl schließen, sondern man muß jedes eigens bestimmen.

Brechende und zerstreuende Kraft einiger Körper.

A. Feste und tropfbare Körper.

Name.	Dichte.	n	$n^2 - 1$	$\frac{n^2 - 1}{d}$	$\frac{N - n}{n' - 1}$
Diamant	3.521	2.487	5.185	1.473	0.038
Phosphor	1.770	2.424	3.946	2.230	0.128
Schwefelkohlenstoff	1.272	1.643	1.699	1.336	0.048
Terpentinöhl	0.885	1.476	1.178	1.332	0.042
Alkohol	0.825	1.374	0.885	1.076	0.029
Zucker	1.606	1.554	1.415	0.943	0.036
Wasser	1.000	1.336	0.785	0.785	0.035
Schwefelsäure	1.841	1.440	1.074	0.583	0.031
Salpetersäure	1.480	1.406	0.977	0.660	0.045
Salzsäure	1.156	1.376	0.893	0.776	0.043
Saphir	4.000	1.794	2.218	0.554	[illegible]
Topas, gelber	3.550	1.638	1.684	0.474	0.025
Beryll	2.650	1.598	1.5536	0.586	0.037
Flintglas	3.723	1.639	1.687	0.453	0.05
Crownglas	2.520	1.544 1.534	1.384 1.353	0.549 0.537	0.036

B. Gase bei 0° C. und 0.76 M. Barometerstand.

Name.	n	$n^2 - 1$	d	$\frac{n^2 - 1}{d}$
Atmosphärische Luft	1.000294	0.000589	1.000	0.000589
Sauerstoffgas	1.000272	0.000544	1.103	0.000493
Wasserstoffgas	1.000138	0.000277	0.069	0.004073
Stickgas	1.000300	0.000601	0.976	0.000616
Ammoniakgas	1.000385	0.000771	0.591	0.001304
Kohlensäuregas	1.000449	0.000899	1.524	0.000581
Chlorgas	1.000772	0.001545	2.470	0.000624
Salzsäuregas	1.000449	0.000899	1.254	0.000717
Stickstoffoxydulgas	1 000503	0.001007	1.527	0 000659
Salpetergas	1.000303	0.000606	1.039	0.000583
Kohlenoxydgas	1.000340	0.000681	1.972	0.000342
Cyangas	1 000834	0.001668	1.819	0.00092
Oehlbildendes Gas	1.000678	0.001356	0.980	0.001384
Sumpfgas	1.000443	0.000886	0.559	0.001602
Salzäthergas	1.001059	0.002191	2.234	0.000098
Blausäuregas	1.000451	0.000903	0.944	0 000096
Phosphorgas	1.001159	1.002318	3.442	0.000067
Schwefeligsaures Gas	1.000665	0.001331	2.247	0.000059
Schwefelwasserstoffgas	1.000644	0.001288	1.178	0.001093
Schwefeläthergas	1.00153	0.003061	2.581	0.001185
Schwefelkohlenstoffgas	1.00150	0.003010	2.644	0.001138
Phosphorwasserstoffgas	1.00789	0.001579	1.256	0.001249

Das Farbenzerstreuungsvermögen des Glases wird durch einen Zusatz von Blei bedeutend erhöht. Bleihaltiges Glas, sogenanntes Flint-

glas, wie es Fraunhofer verfertigte, hat eine Farbenzerstreuung, welche im Durchschnitte sich zu der des Crown- oder Spiegelglases wie 2 : 1 verhält. Bei englischem Flintglase ist dieses Verhältniß 1.5 : 1; bei Wasser und Crownglas wie 1 : 1.56. Verschiedene Flintglasgattungen haben auch ein verschiedenes Zerstreuungsvermögen, und zwar in der Regel ein desto größeres, je dichter sie sind. Bei den Flintglassorten, die Fraunhofer (Gilb. Ann. 56. 292.) mit Nr. 13, 3, 30 und 23 bezeichnet, sind die Zerstreuungsverhältnisse gegen Crownglas Nro. 9 nach der Ordnung 2.09, 1.84, 2.04, 208, und ihre specifischen Gewichte 3.723, 3.512, 3.695, 3.724. Bei der Sorte 13 war das Zerstreuungsverhältniß gegen Crownglas Nr. 9 für die rothen Strahlen 2.56, für die orangen 2.87, für die gelben 3.07, für die lichtblauen 3.19, für die dunkelblauen 3.46, für die violetten 3.73. Schwefel, Phosphor und die Metallsalze haben ein sehr großes Brechungs- und Zerstreuungsvermögen; Edelsteine brechen das Licht stärker als Flintglas, zerstreuen es aber weniger als Wasser; Harze, Gummi, Oehle und Balsame zerstreuen und brechen das Licht beinahe in einerlei Verhältniß stärker als Wasser. Die Oehle verdanken ihr großes Zerstreuungsvermögen wahrscheinlich dem Wasserstoffe, wenigstens überzeugte sich Herschel, daß das Zerstreuungsvermögen des Cassiaöhles fast um die Hälfte vermindert wurde, nachdem man ihm mittelst Chlor Wasserstoff entzogen hatte. Salzsäure, Salpetersäure und salpetrige Säure zerstreuen es mehr, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Citronen- und Weinsteinsäure weniger als Wasser. Ein ungemein kleines Zerstreuungsvermögen besitzen der Flußspath, der Chrysolith und der Topas. (Gilb. Ann. 50. 129.)

Fünftes Kapitel.

Brechung des Lichtes in sphärischen Linsen.

34. Eine sphärische Linse ist ein von Kugelflächen begrenztes Mittel. Es gibt mehrere Arten derselben, und zwar 1) beiderseits erhabene (Fig. 188) (a); 2) auf einer Seite erhabene, auf der anderen ebene (b); 3) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, so daß die erhabene Fläche mehr gekrümmt ist als die hohle (c); 4) auf beiden Seiten hohle (d); 5) auf einer Seite hohle, auf der anderen ebene (e); 6) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, jedoch so, daß die erhabene Fläche weniger gekrümmt ist als die hohle (f). Die Linie AB, in welcher die Mittelpunkte der Krümmungen einer Linse liegen, heißt ihre Axe, der Punkt der Axe in der Mitte der Linse, heißt der optische Mittelpunkt, und eine Linse heißt centrirt, wenn alle ihre Theile um diese Axe symmetrisch liegen. Nur von solchen Linsen soll hier die Rede seyn. Man wendet gewöhnlich nur Glaslinsen an, verfertigt sie aus weißem Spiegelglase, oder zu einem besonderen Zwecke aus dem Flintglase, wohl auch aus gläsernen Schalen, die mit einer durchsichtigen Flüssigkeit gefüllt werden. Die Formen a, b, c nennt man in diesen Fällen aus später zu erörternden Gründen Sammellinsen, die Formen d, e, f Zerstreuungslinsen. Fresnel schlug Linsen vor, die aus mehreren Ringen (polyzonale Linsen) zusammengesetzt werden. In beson-

deren Fällen sind Linsen aus reinen, durchsichtigen Edelsteinen von Nutzen.

35. Ein Lichtstrahl Sx (Fig. 189), welcher in der Richtung der Axe auf eine doppelt convexe Linse fällt, geht ungebrochen durch dieselbe, weil die Tangenten der Punkte A und B, welche er trifft, mit einander parallel sind, und es daher gerade so ist, als ginge er durch ein von parallelen Wänden begrenztes Mittel; jeder andere Strahl erleidet aber eine Ablenkung. Um diese zu bestimmen, sey SDy ein Strahl, der mit der Axe einen sehr kleinen Winkel bildet, C und c die Mittelpunkte der Krümmungen der Linse, D der Einfallspunkt des Strahles Sy, cDz das Einfallsloth, DE die Richtung des Strahles nach der ersten Brechung, G der Einfallspunkt beim Austritte aus der Linse, CG das Einfallsloth, GF der Strahl nach der zweiten Brechung, und n der Brechungsexponent für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Material der Linse. Man setze der Kürze halber $SA = a$, $AF = \alpha$, $AE = k$, $CG = f$, $cD = g$, vernachlässige die Dicke AB der Linse, und nehme $SD = SA$, $DE = BE$ an, welches bei der vorausgesetzten, sehr geringen Divergenz der Strahlen wohl geschehen kann.

Es ist dem Gesetze der Brechung gemäß

$$\sin SDz : \sin cDE = n : 1,$$

ferner geben die Dreiecke SDc, cDE

$$\sin DcS : \sin SDc = SD : Sc$$
$$\sin cDE : \sin DcE = cE : DE.$$

Verbindet man diese drei Porportionen durch Multiplication, und bedenkt, daß $\sin SDz = \sin SDc$ und $\sin DcS = \sin DcE$ ist, so erhält man

$$Sc \,.\, DE = n \,.\, SD \,.\, cE, \text{ d. h. } (a + g)\, k = n\, a\, (k - g),$$

mithin $nag + gk = (n - 1)\, ak$, und hieraus durch Division mit agk

$$\frac{n}{k} + \frac{1}{a} = (n - 1)\frac{1}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Für die Brechung des Strahles DE an der zweiten Fläche der Linse findet eine ähnliche Gleichung Statt, die man sogleich aus (1) erhält, wenn man daselbst n, g, a, k gegen $\frac{1}{n}$, $-f$, $-k$, α umtauscht. Hierdurch wird

$$\frac{1}{n\alpha} - \frac{1}{k} = -\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{1}{f} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{\alpha} - \frac{n}{k} = (n - 1)\frac{1}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Addirt man die Gleichungen (1) und (2), so hat man:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad (A).$$

36. Aus dieser Gleichung kann man die Brechungsgesetze des Lichtes in Linsen für Strahlen, die von der Axe sehr wenig abweichen, leicht bestimmen. Sie gibt 1) für $a = \infty$, $\frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$,

d. h. die Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Punkte herkommen oder die parallel auffallen, vereinigen sich in einem Punkte hinter der Linse. Man heißt diesen Punkt den **Brennpunkt** (focus), und seine Entfernung von der Linse die **Brennweite**. Setzt man die Brennweite $= p$, so wird

$$\frac{1}{p} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B),$$

und daher aus (A)

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ oder } \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad (C).$$

2) Je kleiner a ist, desto größer wird α, d. i. je näher der leuchtende Punkt an die Linse rückt, oder je divergirender die Strahlen auffallen, desto weniger convergirend sind sie nach der Brechung. 3) Für $a = 2p$ wird auch $\alpha = 2p$, d. h. steht der leuchtende Punkt in der doppelten Brennweite vor der Linse, so vereinigen sich die von ihm ausgehenden Strahlen in derselben Entfernung hinter der Linse. 4) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, d. i. wenn sich der leuchtende Punkt im Brennpunkte befindet, werden die Strahlen durch die Brechung parallel. 5) Für $a < p$ wird der Werth von α negativ, d. i. wenn sich der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite befindet, so bleiben die von ihm ausgehenden gebrochenen Strahlen divergirend. 6) Hat a einen negativen Werth, so ist, wenn man $-a$ statt a schreibt, $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} + \frac{1}{a}$ mithin $\alpha < a$, d. i. convergirend auffallende Strahlen werden durch eine Convexlinse noch mehr convergirend gemacht. Man sieht hieraus, daß in den Fällen 1, 3, 5, 6, ein Bild des leuchtenden Punktes in der Axe entsteht.

37. Strahlen, die mit der Axe einen bedeutenden Winkel machen, können nicht so wie die vorher betrachteten durch die Linse in einem Punkte vereiniget werden. Fallen z. B. mehrere solche Strahlen auf die Linse Fig. 190 auf, und schneiden die der Axe AB nächsten dieselbe in F, so werden die anderen, mehr abweichenden sich einander in f, f, f″, f′ schneiden, und so zu beiden Seiten der Axe die symmetrische Curve f f F f″ f′ bilden, welche man Brennlinie (Caustica) nennt. Diese Abweichung kommt von der Gestalt der Linse her, und heißt **Abweichung wegen der Kugelgestalt** (sphärische Abweichung). Wegen ihr geben nur die von der Axe wenig abstehenden Strahlen hinter der Linse ein deutliches Bild des leuchtenden Punktes. Will man daher ein solches Bild erhalten, so muß man die gegen den Rand der Linse einfallenden Strahlen durch eine Blendung abhalten, und der Linse solche Krümmungen geben, daß diese Abweichung ein Kleinstes werde.

Bei zwei nahe an einander gestellten Linsen kann man nach **Herschel** (*Phil. transact.* 1821.) diese Abweichung ganz heben, bei einer gleichseitigen Linse ist diese Abweichung größer als bei einer ungleichseitigen, bei letzterer größer, wenn die weniger gekrümmte Seite gegen das Object gekehrt ist, als wenn das Gegentheil Statt findet, bei einer

Convexplan- oder bei einer Concavplanlinse, deren Planseite gegen das Auge gewendet wird, ist die Abweichung fast so klein, wie bei einer Linse, wo sie auf das Minimum gebracht ist.

38. Linsen, welche auf einer Seite convex, auf der anderen eben sind, können so angesehen werden, als hätten sie an der planen Seite eine Kugelkrümmung, wozu ein unendlich großer Radius gehört. Setzt man daher in der Formel (B) $f = \infty$, so erhält man $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{g}$, und ersieht daraus, daß die für beiderseits convexe Linsen aufgestellte Formel auch für planconvexe gilt, und daß der ganze Unterschied im Werthe der Brennweite besteht, der bei übrigens gleichen Umständen für jene immer kleiner als für diese ist. Dieselbe Formel gilt auch für concavconvexe Linsen, wenn man einen Radius negativ nimmt, und sie in

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right)$$

umstaltet. Ist nun $f < g$, d. i. der Radius der Convexität kleiner als jener der Concavität, so fällt p positiv aus, und es gehört die Linse in die Reihe der zwei vorigen, und kann mit ihnen Sammellinse genannt werden, weil diese drei Gattungen, des positiven Werthes der Brennweite wegen, parallele Strahlen immer convergirend zu machen suchen. Sie heißen auch Brenngläser, weil sie das Sonnenlicht im Brennpunkte so concentriren, daß man daselbst Körper verbrennen kann. Tschirnhausen, der es in der Verfertigung der Brenngläser sehr weit trieb, verfertigte eines von drei Fuß Oeffnung und zwölf Fuß Brennweite. So große Brenngläser macht man am leichtesten aus zwei Uhrschalen, die man zusammensetzt und mit Wasser oder Weingeist ausfüllt. Im Brennraume solcher Linsen können Metalle geschmolzen und Erden verglaset werden.

39. Für eine beiderseits hohle Linse wird sowohl der eine als der andere Halbmesser negativ. Deßhalb gilt für sie die Formel: $\frac{1}{p} = (n-1)\left(-\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right)$ oder $\frac{1}{p} = -(n-1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$, das heißt es fällt p negativ aus. Setzt man in (C) $-p$ statt p, so hat man

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad (D).$$

Des negativen Werthes der Bremmweite wegen werden Strahlen, welche auf eine solche Linse parallel auffallen, durch die Brechung so divergirend, als kämen sie von einem Punkte vor der Linse her. Dieser Punkt ist wieder der Brennpunkt des Glases und seine Entfernung von der Linse die Brennweite. Man nennt ihn nicht selten den imaginären Brennpunkt, weil sich daselbst die Strahlen nicht wirklich vereinigen. So lange a einen endlichen aber positiven Werth hat, ist α negativ und dem numerischen Werthe nach kleiner als a, d. i. divergirend auf diese Linse auffallende Strahlen werden durch die Brechung noch mehr divergirend. Ist a negativ, d. h. fal-

len die Strahlen convergirend auf; so wird, wenn man in (D) — a an die Stelle von a bringt,

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p}.$$

Ist $a > p$, so wird α negativ oder die Strahlen werden divergirend. Ist $a = p$; so wird $\alpha = \infty$ oder die Strahlen werden parallel. Ist endlich $a < p$, so wird α positiv oder die Strahlen bleiben convergirend, sind es aber wegen $\alpha > a$ weniger als vor ihrer Brechung. Wenn man $f = \infty$ setzt, und aus obiger Formel

$$\frac{1}{p} = -\frac{n-1}{g}$$

macht, so hat man sie für eine planconcave Linse eingerichtet. Eine solche Linse bringt daher im Allgemeinen dieselben Wirkungen hervor, wie eine beiderseits concave. Ist f positiv, g negativ, und überdieß $f > g$, so wird die Linse eine convexconcave, und es zeigt die Formel

$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right),$$

daß p negativ wird, demnach diese Linse ebenfalls in die Klasse der zwei so eben betrachteten gehört. Alle drei zusammen begreift man des negativen Werthes der Brennweite wegen unter dem Worte Zerstreuungslinsen.

40. Die in 36 angegebene Gleichung (C) gilt auch für einen Punkt, der außer der Axe, aber in einer sehr geringen Entfernung von ihr liegt. Um dieses zu beweisen, sey Ma (Fig. 191) die Axe der Linse, S der leuchtende Punkt außer ihr, C das optische Centrum, Ss ein Strahl durch C, SB ein anderer Strahl, und Bs sein Weg nach der Brechung. Verlängert man die Linie BS, bis sie die Axe in A schneidet, und eben so sB nach Belieben bis E, so ist

$$BSs + BsS = BAD + BDA,$$

weil jede dieser Summen gleich EBA ist. Liegt nun S in einer sehr geringen Entfernung von der Axe, und SB wenig gegen Ss geneigt; so kann man die genannten Winkel ihren Tangenten proportionirt setzen, und BC auf SC senkrecht annehmen. Diesem gemäß ist

$$BSs = \frac{BC}{SC},\ BsS = \frac{BC}{sC},\ BAD = \frac{BC}{AC},\ BDA = \frac{BC}{CD},$$

und daher $\frac{BC}{SC} + \frac{BC}{sC} = \frac{BC}{AC} + \frac{BC}{CD}$ oder

$$\frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{AC} + \frac{1}{CD}.$$

Befände sich der leuchtende Punkt in A, so wäre

$$\frac{1}{AC} + \frac{1}{CD} = \frac{1}{p},\ \text{mithin ist auch}\ \frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{p}.$$

Es entsteht daher auch von einem leuchtenden Punkte, der außer der Axe, aber nahe an ihr liegt, unter denselben Umständen, wie von einem in der Axe liegenden, ein Bild, und zwar in einer durch den

leuchtenden Punkt und durch das optische Centrum gezogenen, geraden Linie.

41. Befindet sich außerhalb der Brennweite einer Sammellinse ein leuchtender Gegenstand, wovon kein Punkt gar weit außer der Axe der Linse liegt, so entsteht von jedem Punkte ein Bild hinter der Linse, in einer durch ihn und durch das optische Centrum gezogenen, geraden Linie; die Bilder aller Punkte geben ein verkehrtes Bild des Gegenstandes. Wäre z. B. AB (Fig. 192) eine Sammellinse, F ihr Brennpunkt, Ss ein Gegenstand; so entsteht von S das Bild s', von s das Bild S', und die Bilder der zwischen S und s liegenden Punkte befinden sich zwischen s' und S', so daß S's' das Bild von Ss vorstellt. Ist C der optische Mittelpunkt, so wird ohne merklichen Fehler angenommen werden können, $\frac{Ss}{S's'} = \frac{CS}{Cs'}$. So lange also $CS > Cs'$, ist auch $Ss > S's'$. Man sieht hieraus, daß das Bild desto größer ausfällt, je näher der Gegenstand an den Brennpunkt rückt. Befindet sich unter derselben Voraussetzung, wie vorher, ein leuchtender Gegenstand innerhalb der Brennweite einer Sammellinse; so entsteht nicht, wie im vorhergehenden Falle, ein wirkliches durch Zusammentreffen der Strahlen hervorgebrachtes Bild, welches man auf einer hinter der Linse gestellten Tafel auffangen kann, sondern lediglich ein imaginäres, d. h. bloß für ein Auge, welches die aus der Linse kommenden Strahlen aufnimmt, vorhandenes Bild vor der Linse in einer größeren Entfernung, als die des Gegenstandes ist. Dieses Bild erscheint aufrecht und vergrößert. Ist nämlich wieder AB (Fig. 193) eine Sammellinse, FC ihre Axe, F der Brennpunkt, C der optische Mittelpunkt, Ss ein leuchtender Gegenstand; so erscheint das Bild von s in s', das von S in S', mithin das ganze Bild von Ss in S's', und kann, vorausgesetzt daß S's' in der Sehweite eines Auges liegt, von demselben wahrgenommen werden. Da hier wieder, wie vorhin $\frac{S's'}{Ss} = \frac{Cs'}{Cs}$ ist, so muß S's' immer größer als Ss erscheinen, und zwar desto mehr, je näher Ss im Vergleiche mit S's' der Linse liegt, mithin je kleiner die Brennweite derselben ist.

42. Zerstreuungslinsen geben von einem leuchtenden Gegenstande, er mag sich außerhalb oder innerhalb der Brennweite oder gar im Brennpunkte selbst befinden, ein aufrechtes imaginäres Bild vor der Linse, das ihr näher liegt, als der Gegenstand, und deßhalb stets verjüngt erscheint. Ist AB (Fig. 194) eine Zerstreuungslinse, FC ihre Axe, C der optische Mittelpunkt, Ss ein leuchtender Gegenstand, so erscheint s in s', S in S' und Ss in S's'. Wegen $Cs' < Cs$ muß auch immer $S's' < Ss$ seyn.

43. Der Umstand, daß die Brechbarkeit des Lichtes mit seiner Eigenschaft, die Empfindung einer bestimmten Farbe zu erregen, so innig zusammenhängt, macht, daß bei jeder Brechung auch eine Farbenzerstreuung eintritt. Wo die Ablenkung des gebrochenen Strahles nicht groß ist, hat diese Zerstreuung auf unsere Empfindung frei-

sich keinen merklichen Einfluß, wo aber ein Lichtstrahl von seiner Bahn bedeutend abgelenkt wird, da ist dieser Einfluß auf die Deutlichkeit und Färbung des Bildes des Gegenstandes, von dem das Licht kömmt, sehr groß. Es sey S (Fig. 195) ein leuchtender Punkt, der weißes Licht auf die Sammellinse AB sendet. Dieses Licht wird bei der Brechung zerstreut, die brechbarsten Strahlen vereinigen sich in v, die von mittlerer Brechbarkeit in f, die am wenigsten brechbaren in r, so daß alle zusammen, abgesehen von der Abweichung wegen der Gestalt des Glases, sich nicht mehr in einem Punkte vereinigen, sondern bei ihrer größten Vereinigung innerhalb eines Kreises vom Durchmesser CD liegen, den man Abweichungskreis nennt. Stellt man ein dünnes Plättchen mit einer feinen, runden Oeffnung nahe an den Brennpunkt einer Sammellinse, die in einem verfinsterten Zimmer einen eindringenden Lichtkegel auffängt; so werden einige der farbigen Strahlen aufgehalten, während die anderen durch die Oeffnung gehen, und auf einer Tafel aufgefangen, ein schönes Farbenspiel gewähren. Noch herrlicher wird diese Erscheinung, wenn man statt der runden Oeffnung eine ringförmige nimmt, wie Fig. 196 zeigt. Es gibt daher an Linsen außer der sphärischen Abweichung auch noch eine wegen der verschiedenen Brechbarkeit des farbigen Lichtes, die man chromatische Abweichung nennt. Sie ist in der Regel bei den gewöhnlichen Linsen viel größer als jene, und würde den Bildern alle Deutlichkeit benehmen, wenn nicht der Umstand Statt fände, daß sich das von einem Punkte S kommende Licht nicht innerhalb des ganzen Abweichungskreises gleichmäßig vertheilt, sondern im Mittelpunkte f am stärksten ist, und gegen den Umfang hin beständig abnimmt, so daß es am Umfange selbst unendlichmal schwächer als im Mittelpunkte ist. Nämlich alle Strahlen von mittlerer Brechbarkeit gehen durch den Mittelpunkt dieses Kreises, alle äußersten sind auf der ganzen Kreisfläche verbreitet, und die übrigen Strahlen nehmen auf ihr einen größeren oder kleineren Raum ein, je nachdem ihre Brechbarkeit mehr oder weniger von der mittleren abweicht.

Man mißt die Größe der von einer der zwei Abweichungen herrührenden Undeutlichkeit durch den Halbmesser des Kreises, in welchem sich die Strahlen vereinigen, welche ohne Abweichung in einen Punkt vereinigt würden. Er heißt darum auch der Halbmesser der Undeutlichkeit. — Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit versteht man nicht die in der Mitte des Farbenbildes liegenden, sondern die den rothen etwas näheren gelben, weil das Farbenbild auf der Seite der violetten Strahlen schwächer ist, als auf der Seite der rothen, und weil man bei der Bestimmung der Farbenzerstreuung mit einem Prisma, das einen kleinen brechenden Winkel hat, stets ein Verhältniß findet, das mit dem der gelben Strahlen übereinstimmt.

44. Stellt man einen leuchtenden Körper in gehöriger Entfernung vor eine Sammellinse, so werden alle von jedem einzelnen Punkte ausgehenden Strahlen auf die vorhin genannte Weise gesammelt, die Kreise der an einander grenzenden Punkte decken sich zum Theile (Fig.

186), und verursachen dadurch eine Undeutlichkeit des Bildes, die desto größer ist, je mehr die farbigen Strahlen zerstreut werden, und je gleichförmiger das Licht im Abweichungskreise jedes Punktes vertheilt ist.

45. Außer dieser Undeutlichkeit der Bilder verursacht die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes auch noch gewisse Farbenerscheinungen. Ist z. B. AB (Fig. 197) ein Gegenstand, der weißes Licht auf die Sammellinse CD sendet und sich außer ihrer Brennweite befindet, so entsteht hinter ihr nicht ein einziges Bild, wie bisher immer angenommen wurde, sondern unzählige in verschiedener Entfernung von der Linse und daher auch von verschiedener Größe, worunter sechs verschiedenfarbige unterschieden werden können. Das von der Linse entfernteste, mithin größte, darunter ist das rothe rr′, das kleinste das violette vv′; die übrigen liegen zwischen beiden. Werden diese Bilder auf einer weißen Tafel aufgefangen oder mit freiem Auge betrachtet, so decken sich dieselben in der Mitte, und bringen durch ihren Gesammteindruck die Empfindung der weißen Farbe hervor. Nicht so am Rande; da ragt der rothe und gelbe Theil über die übrigen hervor, und das ganze Bild erscheint daher mit einem rothgelben Saume. Wäre der Gegenstand nach innen begrenzt wie ein Ring, so würde sein Bild eine bläulich violette Einfassung haben, weil von dieser Seite das violette und blaue Bild vorsteht. Erschiene dem Auge O das Bild eines Gegenstandes AB (Fig. 198) vor der Linse CD, so müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte Statt finden. Hier ist das rothe Bild rr′ der Linse am nächsten, das violette vv′ davon am meisten entfernt, und daher jenes unter allen das kleinste, dieses das größte, weßwegen letzteres über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.

46. Der nachtheilige Einfluß dieser verschiedenen Brechbarkeit des Lichtes mußte wohl schon früh denkende Naturforscher aufmuntern, Mittel ausfindig zu machen, um ihm abzuhelfen. Newton hielt ein solches Mittel, durch eine unrichtige Beobachtung und einen falschen Schluß verleitet, für unmöglich, Euler vermuthete die Möglichkeit desselben aus der Betrachtung des Baues des Auges, wo diese Abweichung nicht Statt zu finden schien; aber erst Dollond (im Jahre 1757) war es vorbehalten, durch Klingenstierna's Untersuchungen veranlaßt, auf die rechte Spur zu kommen, und Linsen mit farbenlosen Bildern, achromatische Linsen, zu verfertigen. Um einen richtigen Begriff vom Wesen des Achromatismus zu bekommen, muß man Folgendes überlegen: Die Ursache, warum ein von der Sonne direct kommender Strahl nicht farbig erscheint, liegt darin, daß die verschieden brechbaren Bestandtheile desselben mit einander parallel fortgehen und auch zusammen ins Auge kommen; durch ein dreiseitiges Prisma wird der weiße Strahl in farbige Theile zerlegt, weil durch die Brechung dieser Parallelismus der farbigen Theile aufgehoben wird. Man wird daher, um z. B. ein achromatisches Prisma zu Stande zu bringen, dahin arbeiten müssen, diesen Parallelismus

wieder herzustellen, ohne die Ablenkung des Strahles überhaupt aufzuheben. Wenn daher an ein Prisma A (Fig. 199), welches den einfallenden weißen Strahl S a in farbige Theile zerlegt, wovon die äußersten a b und a c sind, ein zweites B, welches aus einem gleich stark brechenden, aber mehr zerstreuenden Stoffe besteht, so gelegt wird, daß die brechenden Winkel eine entgegengesetzte Lage haben; so wird vom Prisma der violette Strahl a c in einem größeren Verhältnisse abgelenkt, als der rothe a b, und da die Ablenkung desselben Strahles in beiden Prismen nach entgegengesetzten Richtungen erfolgt, so wird es bei einem gewissen Verhältnisse der brechenden Winkel zum Zerstreuungsvermögen der Prismen dahin kommen, daß beide Strahlen c d und b e nach dem Austritte aus den Prismen mit einander parallel werden. Dieses wird aber natürlich nur bei einem bestimmten Einfallswinkel des Lichtes Statt finden, und es wird daher das Prisma nur bei diesem achromatisch seyn; aber auch hier wird der Achromatismus nicht ganz vollständig seyn können, weil nur die äußersten, nicht aber alle Strahlen mit einander parallel werden. Dollond construirte zuerst ein achromatisches Prisma aus Crown- und Flintglas, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieses einen Winkel von 19° hatte.

47. Nach denselben Grundsätzen werden achromatische Linsen verfertiget. Es sey A (Fig. 200) eine Convexlinse aus Crownglas, welche die weißen auffallenden Strahlen so convergirend macht, daß sich die rothen in r, die gelben in g und die violetten in v vereinigen. Nach Hinzugabe eines Concavglases B wird die Convergenz der gebrochenen Strahlen kleiner, und wenn dessen Brennweite größer ist, als die von A, so vereiniget die Doppellinse die gelben Strahlen in einer größeren Entfernung, z. B. in g'. Ist B von Flintglas, so bringt es wegen der größeren Farbenzerstreuung die Vereinigungspunkte der rothen und violetten Strahlen näher an g', als es der Fall bei Crownglas gewesen wäre, und bei einem gewissen Verhältnisse zwischen den Brennweiten der Linsen und ihrer Farbenzerstreuung fallen alle diese Punkte zusammen. Dieses setzt aber auch voraus, daß die Farbenzerstreuung beim Flintglase für alle farbige Strahlen gegen die beim Crownglase in demselben Verhältnisse stehe; eine Bedingung, die in der Wirklichkeit nicht eintrifft. Daher begnügt man sich gewöhnlich bei achromatischen Linsen, die Vereinigungspunkte der äußersten Stralen und derjenigen zusammenzubringen, die vermöge ihrer Brechbarkeit und Lebhaftigkeit gleichsam als die mittleren anzusehen sind, allein man bewirkt dadurch keinen vollkommenen Achromatismus, und muß daher oft zur besseren Erzielung des beabsichtigten Zweckes eine dreifache Linse construiren, welche aus zwei convexen Crownglas- und einer concaven Flintglaslinse besteht, und wo gleichsam die aus Flintglas und Crownglas bestehende Doppellinse zum Achromatisiren der zweiten Convexlinse gebraucht wird. Fallen auf eine achromatische Linse parallele Strahlen auf, so wird der convexe Bestandtheil gegen das Object gewendet; treffen es hingegen stark divergirende Strahlen,

so kehrt man den concaven Theil gegen das Object. Gewöhnlich stellt man die Flintglaslinse hart an die Crownglaslinse oder kittet gar beide zusammen; da müssen natürlich die Linsen gleiche Oeffnungen bekommen. Erst in der neuesten Zeit hat man beide Linsen bis auf $^1/_3$—$^1/_2$ der Brennweite des Crownglases aus einander gerückt, und dadurch den Vortheil erlangt, den ganzen, auch von einer großen Crownglaslinse kommenden Lichtkegel mit einem viel kleineren Flintglase auffangen und achromatisiren zu können. Die Construction solcher Linsen, die man dialytische nennt, hat zuerst Barlow angedeutet, Rogers hat den gemachten Vorschlag abgeändert, Littrow und Stampfer haben die mathematische Theorie geliefert, und Plößl hat sie zuerst ausgeführt. (Barlow in *Phil. Transact.* 1829, Rogers in Zeitsch. 5. 120, Jahrb. des polyt. Instit. 14. 108, Littrow in Zeitsch. 4. 255, Jacquin ebend. n. F. 3. 57. Stampfer in Jahrb. des polyt. Inst. Bd. 14, 108.) Statt Flintglas hat man mehrere Flüssigkeiten in Vorschlag gebracht, weil es schwer hält, große und doch homogene Flintglasstücke zu erhalten. Schwefelkohlenstoff scheint sich am besten hierzu zu eignen, wiewohl Flüssigkeiten überhaupt gegen sich haben, daß sie so leicht verdünsten und sich ungleich erwärmt in Schichten von verschiedener Dichte absondern.

Sechstes Kapitel.

Erleuchtung und Absorption des Lichtes.

48. Ein leuchtender Punkt sendet ringsum Strahlen von gleicher Intensität aus. Denkt man sich einen solchen Punkt als Centrum einer Kugelfläche, so fällt jeder ausgehende Strahl senkrecht auf diese Fläche auf und erleuchtet sie, und gleiche Flächen werden offenbar von gleichen Lichtmengen, d. h. von gleich dichtem Lichte getroffen. Die Lichtmengen, welche daher zwei ungleich große Stücke einer solchen Fläche treffen, verhalten sich offenbar direct wie die Leuchtkraft (der Glanz) der leuchtenden Punkte und die Größe der betreffenden Flächen. Denkt man sich den Halbmesser der Kugelfläche größer, so entsteht eine neue Kugelfläche, die im Verhältnisse des Quadrates des Halbmessers größer ist, ohne doch mehr Licht zu erhalten, als die erstere. Daher steht die Dichte des Lichtes, welches ein leuchtender Punkt auf Stücke von Kugelflächen sendet, bei demselben Glanze der Lichtquelle im verkehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Entfernung dieser Fläche von der Lichtquelle. Ist die erleuchtete Fläche nicht eine Kugelfläche, in deren Mittelpunkt sich der leuchtende Punkt befindet, so kann man die Strahlen nur auf ein sehr kleines Stück (ein Element) derselben für senkrecht annehmen, und die Beleuchtung nach obiger Regel berechnen, die anderen werden von den Lichtstrahlen schief getroffen und nach einem anderen Gesetze erleuchtet. Man nimmt allgemein an, daß die Erleuchtung bei übrigens gleichen Umständen so abnimmt, wie der Sinus des Winkels wächst, unter welchem das

Licht einfällt. Hat man es endlich nicht mit einem leuchtenden Punkte, sondern mit einem leuchtenden Körper oder mit einer Licht aussendenden Fläche zu thun, so richtet sich die einer Fläche dadurch zu Theil gewordene Erleuchtung auch noch nach der Menge der leuchtenden Punkte, mithin nach der Größe des leuchtenden Körpers oder der leuchtenden Fläche, und muß für jeden Punkt eigens berechnet werden; denn es haben nicht alle Strahlen einerlei Intensität, sondern die schief ausfahrenden sind in dem Verhältnisse weniger intensiv als der Sinus des Ausstrahlungswinkels größer ist. Demnach steht die Erleuchtung einer Fläche im geraden Verhältnisse mit dem Glanze und der Größe der leuchtenden Fläche (oder des jener Fläche zugekehrten Theiles des leuchtenden Körpers, wenn derselbe undurchsichtig oder des Körpers selbst, wenn er durchsichtig ist), im verkehrten mit dem Sinus des Ausstrahlungs- und Einfallswinkels und mit dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle von der genannten Fläche.

49. Das Licht, welches eine dunkle Fläche trifft, erleidet auf derselben mehrere Modificationen. Ein Theil desselben wird nämlich reflectirt, ein anderer dringt in den Körper ein, und sowohl der reflectirte als der eingedrungene verhält sich wieder auf verschiedene Art. Man unterscheidet bekanntlich beim zurückgeworfenen Lichte das regelmäßig reflectirte, welches uns das Bild des leuchtenden Körpers zeigt, von dem zerstreut zurückgeworfenen, wodurch der reflectirende Körper selbst sichtbar wird. Der Antheil an letzterem ist desto größer, je polirter der reflectirende Körper und je größer der Einfallswinkel des Lichtes ist. Daher kommt es, daß manche Körper, die bei fast senkrecht auffallendem Lichte keine Spur von Glanz zeigen, spiegeln, wenn man sie schief ansieht, und daß ein Körper durch bloßes Glätten seiner Oberfläche zum Spiegel wird. Manche Körper reflectiren, wenn ihre Oberfläche rauh ist, eine sehr geringe Menge Licht, wie es nach Brewster an einem Rauchtopase der Fall war, der an seinen Bruchflächen ganz schwarz erschien, ungeachtet er an den natürlichen Flächen viel Licht reflectirte. Die Menge des reflectirten Lichtes steht mit dem Brechungsexponenten der zwei an einander grenzenden Mittel in Zusammenhang, nämlich des reflectirenden, und desjenigen, durch welches das Licht dahin gelangt. Das von einem Körper zerstreut reflectirte Licht geht von jedem Punkte desselben nach allen Richtungen aus und macht ihn sichtbar, kann aber auch, wenn es von diesem wieder zurückgeworfen wird, andere Körper wie jeder leuchtende erleuchten. Die Größe dieser Erleuchtung wird von denselben Gesetzen beherrscht wie die von einem leuchtenden Körper herrührende.

Nach Bouguer wird von einem Lichtstrahle, der senkrecht von der Luft auf Wasser fällt, 0.018, von einem, der eben so von Luft auf Glas kommt, 0.025 reflectirt. Nach Herschel reflectirt ein Metallspiegel 0.673 des auffallenden Lichtes. Lambert fand, daß die Menge des von Glas reflectirten Lichtes bei den Einfallswinkeln (von der Trennungsfläche der Mittel an gerechnet) 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, durch folgende Zahlen ausgedrückt werde: 0.483; 0.367; 0.279; 0.210; 0.165; 0.136; 0.115; 0.98. Schwarzer Marmor re-

flectirt bei 3° 35′, 15°, 30°, 80°, folgende Lichtmengen: 0.6; 0.156; 0.051; 0,023. Nach Potter nimmt das Reflexionsvermögen frisch polirter Spiegel mit der Zeit rasch ab. (Pogg. Ann. 22. 606.)

50. Auch das in einen Körper eingedrungene Licht verhält sich auf mehrfache Weise: In denjenigen Körpern nämlich, welche wir undurchsichtige nennen, wird alles nicht reflectirte Licht verschluckt (absorbirt), in den durchsichtigen geschieht dieses nur mit einem Theile desselben, der andere geht durch den Körper hindurch, erleidet aber auf dem Wege ununterbrochene Zerstreuungen, und der Rest verläßt den Körper wieder nach einer den Brechungsgesetzen entsprechenden Richtung. Kein Körper nimmt alles auf ihn fallende Licht auf; denn an der Grenze zweier Mittel muß jeder Strahl in zwei Theile getheilt werden, wovon einer reflectirt wird. Wollte man demnach nur solche Körper vollkommen durchsichtig nennen, die alles auffallende Licht aufnehmen und durchleiten, so wäre ein solcher Körper etwas Unmögliches. Wohl ist aber ein Körper denkbar, der den einmal aufgenommenen Antheil des auf ihn gefallenen Lichtes ungeschwächt bis zur anderen Grenze fortleitet, und ein solcher heißt eigentlich vollkommen durchsichtig. Aber es scheint nicht einmal einen solchen Körper in der Natur zu geben; denn das Licht wird auf seinem Wege, in jedem Körper durch Zerstreuung geschwächt, woran der Mangel an Continuität und Homogeneität der Masse schuld seyn mag. Dieses zeigt z. B. folgender Versuch: Man leite einen intensiven Lichtstrahl AB (Fig. 201) in ein verfinstertes Zimmer, und lasse ihn recht schief auf ein ziemlich langes und dickes, reines Glasprisma fallen. Da sieht man den reflectirten Strahl deutlich im Inneren des Glases den Weg BFCGDKEI nehmen, zugleich aber gebrochene Theile davon in C, D, E, F, G, K, I in die Luft austreten. Der Glaskörper selbst erscheint in allen Punkten des Innern sichtbar, zum Beweise, daß auch fast an jeder Stelle eine Zerstreuung des Lichtes eintrete, und sich der an den äußeren Grenzen bemerkbare Vorgang im Innern unzähligemal wiederhole. Eine natürliche Folge dieses Verhaltens ist, daß selbst bei dem durchsichtigsten Mittel der reflectirte und der durchgelassene Strahl zusammengenommen eine geringere Intensität hat als der einfallende, und daß der Unterschied desto größer ausfällt, je größer der Weg ist, den das Licht im Innern eines Körpers zurücklegen muß. Denkt man sich das betreffende Mittel in m gleich dicke Schichten getheilt, nennt die Intensität des eindringenden Lichtes I, und stellt sich vor, in jeder solcher Schichte werde der Theil μI desselben absorbirt; so hat offenbar das Licht in der ersten Schichte die Intensität $I(1-\mu)$, in der zweiten die Intensität $I(1-\mu)^2$ und in der letzten (m^{ten}) die Intensität $I(1-\mu)^m$. Es nimmt demnach die Lichtstärke in einem geometrischen Verhältnisse ab, wenn die Dicke des Mittels in arithmetischem zunimmt. Der Werth von μ hängt von der Natur des Mittels, besonders von dessen Dichte, von der Brechbarkeit des Lichtes und von der Temperatur ab, und $1-\mu$ gibt das Maß der specifischen Durchsichtigkeit der Körper an.

Nach Lambert wird von einer grünlichen Glasplatte bei einem Einfallswinkel von 41° $^3/_{17}$ des einfallenden Lichtes absorbirt. Seewasser absorbirt bei einer Dicke von 679 Fuß alles Licht, und selbst die Luft würde bei einer Höhe von 518385 Toisen alles Sonnenlicht absorbiren. Dieselbe läßt nach Lambert beim senkrechten Einfallen 0.6889 durch. Ein Stück gemeinen Fensterglases läßt die Hälfte, 16 solche Stücke, die zusammen $9^1/_2$ L. dick sind, lassen $^1/_{247}$ und 76—80 solche Stücke gar nichts vom Sonnenlichte durch. Setzt man μ für Luft = 1, so ist sein Werth für Meerwasser 5.651 oder Meerwasser verschluckt 5 651mal mehr Licht als Luft. Berücksichtigt man, daß das Meerwasser über 1000mal dichter als Luft ist, so sieht man, daß seine absolute Durchsichtigkeit fast 5000mal kleiner sey als jene der Luft. Aus dem Gesagten erkennt man auch den großen Einfluß der Homogeneität der Masse auf ihre Durchsichtigkeit, und kann sich viele Erscheinungen erklären, z. B. warum Papier durchsichtiger wird, wenn man die in seinen Poren enthaltene Luft durch Oehl ersetzt (es öhlet), warum die Luft desto durchsichtiger ist, je mehr Wasserdünste sie enthält, warum alle Gase Durchsichtigkeit besitzen, der Hydrophan an Durchsichtigkeit dem Glase gleich kommt, wenn man die Luft in seinen Zwischenräumen durch Wasser ersetzt; ein nicht polirtes Glasstück völlig durchsichtig erscheint, wenn man es mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöhl benetzt, dessen Brechungsvermögen dem des Glases nahe gleichkommt. Man kann diesen Umstand sogar zur Bestimmung des Brechungsvermögens eines Körpers, der zur unmittelbaren Erörterung dieser Größe entweder zu klein ist oder zu wenig durchsichtig erscheint, anwenden, indem man nur eine Flüssigkeit auszumitteln braucht, in welcher derselbe völlig durchsichtig erscheint, das Brechungsvermögen dieser Flüssigkeit ist dann zugleich das des betreffenden Körpers. Durch dieses Mittel erkennt man auch leicht die kleinsten, die Durchsichtigkeit störenden Fehler im Innern ungeschliffener Edelsteine. Zwei Glasplatten sind durchsichtiger, wenn sich Wasser als wenn sich Luft zwischen ihnen befindet, am durchsichtigsten aber, wenn man sie mit einem aus Guajacharz und Canadabalsam bestehenden Firniß zusammenkittet. Glas verliert seine Durchsichtigkeit durch Zerstoßen (Mengen der Glastheile mit Luft).

51. Bisher sind nur die Fälle betrachtet worden, wo jede Gattung farbiger Strahlen im gleichen Verhältnisse absorbirt wurde, und daher der Körper weiße Strahlen reflectirte oder durchließ, wenn er vom weißen Lichte, blaue, wenn er vom blauen ꝛc. beleuchtet wurde. Es gibt aber unzählige Fälle, wo das auffallende Licht in farbige Theile zerlegt wird, und einige derselben derselben durchgelassen, andere reflectirt werden, ja da mit der Brechung stets eine Farbenzerstreuung vorkommt und zwei Mittel von ungleicher Brechkraft meistens auch ein ungleiches Farbenzerstreuungsvermögen besitzen, so muß bei jedem Wechsel des Mittels das durchgelassene und reflectirte Licht eine Farbenänderung erleiden, doch ist diese oft so gering, daß sie unserem Auge entgeht. So reflectirt z. B. Gold von dem auffallenden weißen Lichte die gelben Strahlen und läßt die grünen in seine Masse eindringen, darum erscheint ein sehr dünnes Goldplättchen im reflectirten Lichte gelb, im durchgelassenen grün; eben so reflectirt Meerwasser die grünen Strahlen und nimmt die rothen auf. Die in die Masse eines Körpers eindringenden Strahlen werden häufig in derselben ab-

sorbirt, oft aber auch durchgelassen oder an der zweiten Grenze wieder gegen die erste reflectirt und so ins erste Mittel zurückgesendet. Nach den von Herschel gemachten Erfahrungen werden verschiedenfarbige Strahlen in demselben Mittel immer nach dem Gesetze absorbirt, daß die Menge des durchgehenden Lichtes in einem geometrischen Verhältnisse abnimmt, wenn die Dicke des Mittels im arithmetischen Verhältnisse zunimmt, allein der Exponent $1-\mu$ des geometrischen Verhältnisses (50) hat für jede Strahlengattung einen anderen Werth. In diesem Gesetze liegt der Schlüssel zur Erklärung aller Farbenerscheinungen an Körpern, welche von gewöhnlichem Lichte getroffen werden. (Von den Farbenerscheinungen, die ihr Entstehen besonderen Modificationen des Lichtes verdanken, wird später die Rede seyn.) Ein Körper wird diejenigen Strahlen durchlassen, für welche der Werth von μ am kleinsten ist, und die übrigen absorbiren oder reflectiren. Kann man ihn so dünn ausarbeiten, als es der Werth von μ für andere Strahlen verlangt, so wird er anders gefärbt erscheinen. Von der Art ist z. B. Saftgrün, das in einer dünnen Schichte smaragdgrün, in einer dicken hingegen blutroth aussieht. Man darf aber hierbei nicht vergessen, daß Strahlen, deren Intensität unter eine gewisse Größe herabsinkt, keinen Eindruck mehr in unserem Auge hervorbringen. Die Verschiedenheit der Farbe leuchtender Körper hängt wohl hauptsächlich von der Natur derselben ab, da sie aber das Licht nicht bloß von ihrer Oberfläche ausströmen lassen, sondern aus ihrem Innern, so muß auch die absorbirende Kraft der Schichte, durch welche die Strahlen gehen müssen, darauf Einfluß haben.

Gesetzt, es sey der Werth von μ bei einem Körper von der Art, daß $1-\mu$ für das äußerste Roth $=0.9$, für gewöhnliches Roth, für Orange und Gelb $=0.1$, für Blau, Dunkelblau und Violet $=0.1$ beträgt, und daß in 10,000 weißen Strahlen deren 200 vom äußersten Roth, 1300 rothe und orange, 3000 gelbe, 2800 grüne, 1200 lichtblaue, 1000 dunkelblaue und 500 violette vorkommen; so bleiben von diesen noch übrig:

	nach der ersten,	zweiten,	dritten,	vierten Schichte = 1
Aeußerste Rothe . .	180	162	146	131
Rothe und Orange .	130	13	1	0
Gelbe	300	30	3	0
Grüne	1400	700	350	175
Blaue	120	12	1	0
Dunkelblaue	100	10	1	0
Violette	50	5	0	0

und dieser Körper erscheint demnach in der Dicke $=1$ grün, in der Dicke $=2$ weniger grün, in der 3ten mischt sich roth dazu, und nach der 4ten bleibt nur eine dunkle rothgrüne übrig. Aus der verschiedenen Mischung der einzelnen Farben erklärt man sich leicht die ungeheure Mannigfaltigkeit der Färbung, und begreift, wie schon die Römer bloß bei ihren Mosaikarbeiten 30,000 verschiedene Farben haben konnten.

52. Es ist Jedermann bekannt, welches Licht man weiß nennt. Die Vorstellung des Weißen läßt sich so wenig als die einer anderen Farbe durch eine Beschreibung beibringen; dem Physiker ist aber be-

kannt, daß weißes Licht aus allen farbigen, in einem gewissen Verhältnisse gemischten Strahlen bestehe. Ein Licht reflectirender Körper heißt auch weiß, wenn er die farbigen Strahlen in dem Verhältnisse reflectirt, wie sie im weißen Lichte vorkommen, und seine Weiße heißt absolut, wenn er alle auffallenden Strahlen im gehörigen Verhältnisse zerstreut zurückwirft. Diese absolute Weiße wird als Einheit der Weiße überhaupt angenommen, wenn es auch keinen Körper gibt, dem sie zukommt. Die Weiße eines Körpers, der nicht alle auffallenden Strahlen zu reflectiren vermag, bezeichnet man mit dem Bruche, der den reflectirten Theil des auffallenden Lichtes ausdrückt. So ist die Weiße $= 1/_8$, wenn $1/_8$ der auffallenden Strahlen zerstreut werden. So wie man weißes Licht zum Maßstab der Weiße macht, eben so kann man das in demselben enthaltene rothe Licht zum Maßstabe der Röthe, das darin befindliche blaue zum Maßstabe der Bläue rc. machen, und die Röthe, Bläue rc. eines Körpers durch jene Zahl ausdrücken, welche angibt, den wievielten Theil der im Weiß enthaltenen rothen oder blauen Strahlen ein Stoff zerstreut zurückwirft. Die Bestimmung dieser Zahl geschieht durch besondere Versuche.

So z. B. bestimmt Lambert die Röthe von Siegellack dadurch, daß er eine Stange desselben auf ein schwarzes, von der Sonne stark beschienenes Papier legt, und neben dieselbe einen Streifen weißes Papier. Während er das Siegellack mit einem Auge ansieht, hält er über das weiße Papier ein dreiseitiges Glasprisma, richtet es auf dieses Papier, und wendet es so lange, bis der durch dasselbe erscheinende rothe Streifen auf dem Papiere so intensiv roth erscheint, wie das Siegellack. Es ist also hier die Röthe des Siegellackes der Weiße des Papieres gleich; wegen der unvollkommenen Durchsichtigkeit des Prisma's ist aber letztere um so viel größer, als das Prisma Licht absorbirt oder zerstreut. Ist nun die Weiße des Papiers aus anderen Versuchen bekannt, so ist auch die Röthe des Siegellackes gefunden. Die sogenannten farbigen Körper reflectiren nicht bloß das Licht von jener Farbe, unter der sie erscheinen, sondern auch jedes andere, jedoch in einem viel geringeren Grade; man kann daher wohl von der Röthe oder Weiße rc. eines grünen, gelben, blauen Körpers sprechen, und sie sogar durch Versuche, wie der vorhergehende war, bestimmen.

Nach Lambert's Versuchen ist die Weiße eines Blattes sehr weißen Papiers $= 0.154$, des Fließpapiers kaum $= 0{,}0835$, des Kremserweißes $= 0.4230$; die Röthe des mit Mennig gefärbten Papiers $= 0.293$, die Röthe des mit Zinnober gefärbten $= 0.336$.

53. Theils zur strengen Begründung der vorhergehenden photometrischen Sätze, theils zur Beantwortung anderer hieher gehörigen interessanten Fragen, muß man die Intensitäten sowohl des directen als des von Körpern auf was immer für eine Weise modificirten Lichtes messen können. In dieser Beziehung treten aber ganz besondere Schwierigkeiten ein. Wir kennen kein Licht, das die zu einem Maßstabe für anzustellende Lichtmessungen nöthige Unveränderlichkeit besitzt, und sind daher gezwungen, jedesmal, wenn solche Untersuchungen anzustellen sind, irgend ein für die Dauer desselben möglichst gleichförmig fortdauerndes Licht als Einheit zum Grunde zu legen; ferner bleibt die Bestimmung des Lichtgrades immer dem Auge anheim ge-

stellt, und man hat, wenn man davon die chemischen und erwärmenden Wirkungen des Lichtes ausnimmt, die wenigstens vor der Hand noch nicht zu einem Maßstab für das Licht geeignet sind, keine Scale, an der sich dieser Grad abnehmen ließe. Das Auge ist aber nicht im Stande, ein anderes Verhältniß zwischen der Stärke zweier leuchtenden Körper bestimmt zu erkennen, als das der Gleichheit, darum man auch bei den photometrischen Bestimmungen die mit einander zu vergleichenden Lichtstärken zur Gleichheit bringen, und nach den dazu nöthigen Maßregeln das Lichtverhältniß berechnen muß. Endlich gibt es so ungeheuer viele Grade der Färbung des Lichtes, daß zwei ganz gleichfärbige leuchtende oder beleuchtete Körper nicht gar häufig vorkommen, und doch begründet jede Farbenverschiedenheit eine Art Ungleichartigkeit, die bei Dingen, deren eines durch das andere oder die mit einem gemeinschaftlichen Maße gemessen werden sollen, schlechterdings nicht vorhanden seyn soll. Die Instrumente, welche zur Vergleichung verschiedener Lichtstärken dienen, heißen Photometer. Es gibt deren mehrere, darunter aber kein einziges, über dessen Werth die Physiker einerlei Meinung wären. Alle beruhen darauf, daß man die Wirkungen der zu vergleichenden Lichtquellen entweder durch Veränderung ihrer Entfernung von der zu beleuchtenden Fläche (Rumford's, Bouguer's, Wollastons, Ritchie's Photometer) oder durch Absorption in Mitteln von verschiedener Dicke (Lampadius, Maistre's Photometer), oder durch eine Anzahl von Reflexionen (Quetelet's Photometer), oder durch Verwandlung ihrer Bilder in Lichtflächen (Steinheil's Photometer), oder durch schnell auf einander folgende Unterbrechungen ihrer Einwirkung auf das Auge (Talbot's Photometer) zur Gleichheit bringt, und hieraus dann die eigentlichen Lichtstärken berechnet. (Zeitsch. 1. 72; 6. 466; Pogg. Ann. 29. 186, 490; 34, 644; 35, 457.)

Eines der einfachsten ist das Rumford'sche. Es beruht auf dem Grundsatze, daß der Schatten eines Körpers desto dunkler erscheint, je stärker seine Umgebung erleuchtet ist, und besteht im Wesentlichen aus einer vertical stehenden weißen Fläche, vor welcher in der Entfernung von einigen Zollen ein etwa $1/2$ Zoll dicker cylindrischer Stab steht. Will man den Glanz zweier leuchtenden Körper (für welche dieses Instrument vorzüglich paßt) mit einander vergleichen, so stellt man sie so hinter den Stab, daß derselbe zwei Schatten auf die weiße Fläche wirft, und entfernt die eine oder die andere Lichtquelle so weit vom Stabe, bis beide Schatten gleich dunkel erscheinen. In diesem Falle verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadrate der Distanzen der leuchtenden Körper von der Fläche. Nach Wollaston wird das Licht der Sonne mit dem einer brennenden Kerze verglichen, indem man ersteres auf eine mit Quecksilber gefüllte Thermometerkugel fallen läßt, das durch Reflexion entstandene Bild durch ein Fernrohr mit einem Auge, die Flamme der Kerze hingegen durch eine Convexlinse mit dem anderen Auge ansieht, endlich die Entfernungen dahin abändert, bis beide Bilder gleich hell erscheinen, und dann aus dem Halbmesser der Kugel und den obwaltenden Entfernungen das Verhältniß der Lichtstärke berechnet. Ist r der Halbmesser der Thermometerkugel, d ihre

Entfernung vom Auge, so ist $\frac{r}{2d}$ der scheinbare Halbmesser des Sonnenbildes in dem kleinen Convexspiegel und der Lichteindruck des Bildes dem Ausdrucke $\frac{r^2}{4d^2}$ proportionirt, vorausgesetzt, daß der Sonnenhalbmesser selbst = 1 gesetzt wird. Befindet sich die Lichtflamme in der Entfernung δ vom Auge, so ist der Glanz derselben dem Ausdrucke $\frac{1}{\delta^2}$ proportionirt. Ist diese Lichtstärke der ersteren gleich, so verhält sich die Leuchtstärke der Sonne zu jener der Kerzenflamme wie $1 : \frac{r^2}{4d^2\delta^2}$. Es ist klar, daß man durch Vergleichung der Sonne und verschiedener Sterne mit einem Kerzenlichte zur Kenntniß des Leuchtverhältnisses jener Körper unter einander gelangen kann. (Zeitsch. 6. 466.) Ritchie's Photometer besteht aus einem Kasten (Fig. 202), der beiderseits offen und inwendig geschwärzt ist, und worin sich zwei glatte, gegen einander um 90°, gegen die obere Wand des Kastens um 45° geneigte ebene Papierflächen a und b befinden, denen gegenüber eine Oeffnung E G angebracht ist. Beim Gebrauche stellt man die zwei zu vergleichenden Körper den zwei Papierflächen im Kasten gegenüber, so daß letztere durch erstere Licht erhalten, und ändert diese Entfernung so lange ab, bis beide Lichtquellen den zwei Papierflächen eine gleiche Beleuchtung zu Theil werden lassen; in diesem Falle muß sich der Glanz der Lichtquellen nahe wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den beleuchteten Flächen verhalten. Dieses Instrument gestattet eine große Präcision, besonders wenn man zur genauen Bestimmung der gleichen Erleuchtung der zwei Papierflächen an der Oeffnung E G eine Convexlinse anbringt, und durch sie auf jene Flächen hinsieht. (Zeitsch. 1. 72.) Lampadius mißt die Lichtstärke der Körper durch die Anzahl von Hornscheiben, die gerade hinreicht, um alles Licht eines solchen zu absorbiren. Maistre bedient sich hiezu eines aus einem weißen und einem blauen Glasprisma zusammengesetzten Parallelepipeds, das mit dem dünnsten Theile des weißen Prisma's vor das Objectiv eines Fernrohrs gebracht, hierauf das blaue Prisma so lange verschoben wird, bis das dadurch gesehene Bild des helleren Körpers, dem des minder helleren mit freiem Auge angesehenen gleich ist. Quetelet's Photometer besteht aus einer ebenen Glasplatte mit vollkommen parallelen Wänden, die mit rechtwinkligen Dreiecken von Zinnfolie belegt sind, welche eine solche Anordnung haben, daß sie die Platte in Planspiegel verwandeln, deren einer das einfallende Licht dem anderen durch Reflexion zusendet, bis es gänzlich verschwindet. Steinheil's Photometer hat die specielle Bestimmung die relativen Helligkeiten der Gestirne zu messen, und beruht auf zweckmäßigem Gebrauche eines dazu besonders vorgerichteten Fernrohres. Talbot's Photometer gründet sich darauf, daß die Helligkeit eines leuchtenden Gegenstandes, den man durch eine mit gleichen und gleichgestellten sectorenförmigen Löchern versehene schnell rotirende Scheibe betrachtet, in dem Verhältniß des (auf einem bestimmten mit der Scheibe concentrischen Kreise gemessenen) Abstandes zweier benachbarten Oeffnungen zur Breite einer Oeffnung, verringert wird. Auch später zu erklärende Eigenschaften des sogenannten polarisirten Lichtes lassen sich zu photometrischen Zwecken benützen.

Nach Wollaston scheint das Sonnenlicht so stark wie jenes, das 5563 Kerzenflammen von 1 Fuß Entfernung ins Auge senden. Das

Licht des Sirius ist 20,000 Millionenmal schwächer als das Sonnenlicht, und neunmal stärker als jenes der Vega. Das Mondlicht hat $^1/_{144}$ der Stärke des Kerzenlichtes in 12 Fuß Entfernung oder $^1/_{801072}$ des Sonnenlichtes. Lambert gibt die mittlere Helligkeit des Mondes bei seinen verschiedenen Phasen folgender Maßen an:

Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit
0°	0.0000	70	0.3366	130	0.5747
10	0.0494	80	0.3814	140	0.6043
20	0.0986	90	0.4244	150	0.6294
30	0.1475	100	0.4657	160	0.6490
40	0.1959	110	0.5048	170	0.6619
50	0.2437	120	0.5413	180	0.6666
60	0.2907				

Die Einheit dieser Zahlenangaben ist die Helligkeit des Vollmondes an der von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffenen Stelle. Die mittlere Helligkeit der Planeten in der Opposition wird von Lambert folgender Maßen angegeben:

Merkur	6.6735	Mars	0.4307
Venus	1.9113	Jupiter	0.0370
Erde	1.0000	Saturn	0.0110

54. Will man mit einem Photometer die Lichtmenge bestimmen, die ein durchsichtiger Körper reflectirt oder absorbirt; so darf man nur die verhältnißmäßige Stärke zweier ziemlich constanten Lichtquellen, z. B. zweier Wachskerzen, auszumitteln suchen, wenn sie ihr Licht unmittelbar auf den photometrischen Apparat senden, und dann, wenn die Strahlen des einen vorläufig durch den zu prüfenden Körper gehen. Um wie vielmal das durch diesen Körper gegangene Licht nun schwächer erscheint als vorhin, so viel kommt auf Rechnung der Absorption und Reflexion dieses Körpers. Wäre z. B. die Flamme einer Kerze dreimal stärker befunden worden als die einer anderen, aber nur $2^1/_2$ mal stärker als dieselbe, wenn ihr Licht durch eine Glasplatte gegangen ist; so beträgt die Menge der von der Glasplatte reflectirten und absorbirten Strahlen $^1/_6$ der auffallenden. Auf ähnliche Weise kann man auch die von einem Körper reflectirte Lichtmenge durch ein Photometer bestimmen. Das Hauptwerk über Photometrie ist: *Lamberti Photometria. Aug. Vind.* 1760. Ferner *Bouguer sur la gradation de la lumière.* Paris 1760.

Siebentes Kapitel.

Das Auge und das Sehen.

55. Durch den Sinn des Gesichtes gelangen wir zur Vorstellung der Größe, Entfernung, Gestalt, Lage, Bewegung und Farbe eines Körpers. Das Organ dieses Sinnes ist das Auge. Der für den Physiker wichtigste Theil des Auges ist der Augapfel. Dieser befindet sich in einer Höhlung im Kopfe, in welcher er durch Muskeln nach verschiedenen Seiten bewegt werden kann, und ist durch die Augenlieder und Augenwimpern vor äußeren

zu starken Einwirkungen und vor Unreinigkeit geschützt. Der Augapfel (Fig. 203) hat nahe die Gestalt einer Kugel, und besteht im Wesentlichen aus Häuten und sogenannten Feuchtigkeiten. Die äußerste, dicke, feste, weiße, elastische Haut a heißt die harte Haut (tunica sclerotica), ihr vorderer durchsichtiger, mehr convexer Theil b Hornhaut (cornea). Unter der harten Haut liegt die Aderhaut (tunica choroidea). Diese besteht meistens aus kleinen Gefäßen, liegt hinten an die harte Haut an, trennt sich aber vorne, wo die Hornhaut anfängt, von derselben, und geht in die Regenbogenhaut (iris) über. Diese hat in der Mitte eine Oeffnung, das Lichtloch c (pupilla), welche sich erweitern und zusammenziehen kann. Endlich befindet sich innerhalb der Aderhaut die Netzhaut (retina), welche eine Ausbreitung des Sehnerves d ist. Das Innere des Augapfels ist durch die Regenbogenhaut in zwei Kammern getheilt, welche durch die Pupille mit einander in Communication stehen. In diesen Kammern befinden sich die Feuchtigkeiten. Die innere Kammer zwischen der Netzhaut und der Regenbogenhaut enthält die Glasfeuchtigkeit, eine äußerst durchsichtige, gallertartige Substanz. In einer Vertiefung derselben gegen vorne liegt die zwar beiderseits, aber ungleich-convexe, nach Krause's vielen und sorgfältigen Messungen vorne elliptisch, rückwärts parabolisch gekrümmte Krystalllinse e, die aus zarten Platten besteht, welche inwendig einen dichteren Kern in sich schließen; ihre convexere Seite ist gegen die Netzhaut gekehrt. Sie befindet sich in einer durchsichtigen Kapsel, welche nach Th. Smith am Umfange mit einem Muskelbündel versehen ist. Zwischen der Linse und der Hornhaut ist endlich eine wasserhelle, etwas salzige Flüssigkeit, die sogenannte wässerige Feuchtigkeit, enthalten. Die Augen vieler Thiere, wie z. B. der meisten Säugethiere, der Vögel, sind denen des Menschen sehr ähnlich. Fische haben eine fast kugelförmige Krystalllinse, nur wenig Glasfeuchtigkeit und fast keine Wasserfeuchtigkeit. Insecten haben zwei Arten von Augen, kleine einfache und große facettirte. Beide kommen in verschiedener Anzahl vor. (Anatomische und physiologische Darstellung des menschlichen Auges von F. Müller. Wien, 1819. Ueber die Dimensionen des Auges und seiner Theile s. Krause in Pogg. Ann. 39. 529.)

56. Fällt von einem leuchtenden Punkte ein Lichtkegel ins Auge, so dringen die auf die Pupille fallenden Strahlen ein und vereinigen sich in einem Punkte, nachdem sie bei ihrem Durchgange durch die Feuchtigkeiten des Auges gebrochen worden sind. Indem dieses von jedem Punkte gilt, so entsteht von einem leuchtenden Gegenstande ein kleines, verkehrtes Bild, durch welches der Sehnerv afficirt wird. Wie von da weiter das Sehen vor sich gehe, wäre eine für den Physiker fremdartige Untersuchung, wenn sie auch innerhalb der Grenzen des menschlichen Wissens läge.

57. Damit dieses Bild auf die gehörige Weise wahrgenommen werden könne, muß es deutlich, hinreichend hell seyn, gerade auf die Netzhaut fallen, eine hinreichende Größe ha-

ben und lange genug anhalten. — Zur Erzielung der nöthigen Deutlichkeit ist das Auge so eingerichtet, daß die Bilder von der sphärischen Abweichung frei sind. Zur Aufhebung dieser Abweichung trägt vorzüglich die Form der Krystalllinse, die Lage der als Blendung dienenden Iris und endlich die Wölbung der Netzhaut bei; von der chromatischen Abweichung ist das Bild im Auge nicht frei, und die brechenden und zerstreuenden Kräfte der Krystall- und Glasfeuchtigkeit sind von der Art, daß sie eine chromatische Compensation unmöglich machen; auch ist der vollkommene Achromatismus des Auges nicht nothwendig, da man ohnehin nur die in der Axe oder nahe an ihr liegenden Objecte deutlich sieht. (Gilb. Ann. 56. 301.) Um dem Bilde die nöthige Helligkeit zu verschaffen, muß der ihm entsprechende Gegenstand die gehörige Lichtmenge ins Auge senden; bei zu starkem Lichte zieht sich die Pupille zusammen, und läßt nur einen kleinen Lichtkegel ins Auge gelangen, bei zu schwachem erweitert sie sich, und nimmt einen größeren Lichtkegel auf, doch hat dieses seine Grenzen, und man kann weder bei zu starker noch bei zu schwacher Beleuchtung hell sehen, aber diese Grenzen liegen sehr weit aus einander. Wenn das Licht von seinem Mittel nicht geschwächt würde, so müßten leuchtende und beleuchtete Körper in jeder Entfernung gleich hell erscheinen. Bei größerer Entfernung kommen zwar von jedem Punkte weniger Strahlen ins Auge, aber die Bilder der einzelnen physischen Punkte rücken einander in demselben Maße näher, und das ganze Bild des Objectes wird in demselben Verhältnisse kleiner. Die Abnahme des Glanzes leuchtender Körper bei wachsender Entfernung rührt daher bloß von der absorbirenden Kraft des Mittels her.

Man kann beim Lichte einer Wachskerze und bei dem vielmal stärkeren Sonnenlichte, ja sogar bei dem viel schwächeren Lichte des Vollmondes lesen. Augen, die an sparsames Licht gewöhnt sind, sehen selbst dort noch hell genug, wo es für den im vollen Tageslichte Wandelnden dunkle Nacht ist. Ein mechanischer Druck auf das Auge steigert dessen Empfindlichkeit für das Licht, und scheint in vielen Fällen selbst eine Lichtempfindung hervorzubringen, wie die von Purkinje und Quetelet beobachteten Farbenerscheinungen zeigen, welche man wahrnimmt, wenn man ein oder beide geschlossene Augen drückt. Geschieht letzteres nach entgegengesetzten Richtungen, so ergeben sich ziemlich complicirte Visionen. (Pogg. Ann. 31. 494.) Eigenthümliche Erscheinungen bemerkt man, wenn die Augen, nachdem sie im Dunkeln waren, plötzlich von starkem durch die Augenlieder eindringenden Lichte getroffen werden. Sie wurden zuerst von Miß M. Griffiths beschrieben. (Pogg. Ann. 3. 477.) Die von Peclet und nach ihm von Aimé untersuchten zahlreichen schwarzen Striche, die man bei dem Hindurchsehen durch eine enge Spalte bemerkt (welche nicht mit den später zu erörternden Beugungserscheinungen, die eine solche Spalte veranlaßt, zu verwechseln sind), und ähnliche Phänomene rühren theils von ungleichförmiger Anhäufung der Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Auges, theils von sehr kleinen minder durchsichtigen Pünktchen im Innern des Auges her. (Pogg. Ann. 3. 479; 4. 577.)

58. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die Netzhaut allein der wahre Sitz des Sehens sey, doch beschränkt sich die Wirkung des Lichtes

nicht auf die unmittelbar getroffene Stelle, sondern erstreckt sich auch auf die nächste Umgebung derselben, etwa so, wie ein Druck auf ein gespanntes Tuch rings um die gedrückte Stelle eine Einbiegung erzeugt. (Pogg. Ann. 27. 490. 29. 339; Zeitsch. n. F. 2. 236.) Hierauf beruht das Phänomen der sogenannten Irradiation, welches darin besteht, daß ein schmaler heller Gegenstand auf einem dunklen Grunde merklich breiter erscheint. Es ist klar, daß bei unveränderlicher Einrichtung des Auges nur von Gegenständen, die eine gewisse Entfernung vom Auge haben, das Bild auf die Netzhaut fallen kann. Da aber die Erfahrung lehrt, daß man Gegenstände von verschiedener Entfernung deutlich sieht; so muß in der Einrichtung des Auges etwas veränderlich seyn. Ob dieses die Lage oder Gestalt der Linse oder der Netzhaut sey, ist nicht entschieden; wahrscheinlich ist es aber, daß die Linse durch Zusammenziehen der an der Kapsel angehefteten Muskel converer gemacht, und der Entfernung der Gegenstände angepaßt werden kann. Man empfindet es auch, es ändere sich im Auge etwas, wenn man es von einem nahen Objecte auf ein ferneres richtet. (Brewster in Pogg. Ann. 2. 271.) Ein Theil dieser Veränderung hängt von unserem Willen, ein anderer aber nur vom Lichteindruck ab. Doch hat diese Richtkraft des Auges ihre Grenzen, und das Auge vermag im gesunden Zustande nicht das Bild eines Gegenstandes, der ihm näher steht als 8 — 10 Zoll, auf die Netzhaut zu bringen. Darum sieht man auch nur jene Gegenstände, die außerhalb dieser Grenze liegen, mit gehöriger Deutlichkeit. An dieser Grenze selbst ist das Bild deutlich, und zeigt sich am hellsten und größten, darum heißt die Entfernung von 8 — 10 Z. die Entfernung des deutlichen Sehens (Sehweite). Man sieht demnach in jeder Entfernung, die nicht kleiner ist als 8 — 10 Z., Objecte deutlich, und nimmt darum nicht selten an, daß zum deutlichen Sehen parallele Strahlen erfordert werden, wiewohl diese Annahme nicht ganz richtig ist, aber sie gewährt in der Rechnung manche Vortheile. Bei einigen Menschen ist die Entfernung des deutlichen Sehens bedeutend kleiner, bei anderen viel größer als die vorhin angegebene. Erstere heißen kurzsichtige, letztere weitsichtige; jener Fehler läßt sich durch den Gebrauch von Hohllinsen, dieser durch den Gebrauch von Converlinsen verbessern, weil jene ein Bild geben, das minder vom Auge entfernt ist, als der Gegenstand, diese hingegen eines, dessen Entfernung die des Gegenstandes übertrifft. Unter Wasser ist jedes Menschenauge sehr weitsichtig, und kann nur mittelst einer sehr converen Linse deutlich sehen. Ohne diese vernimmt es von einem Gegenstande nur einen Lichtschein, aber kein Bild. (Muncke in Pogg. Ann. 2. 257.)

Nur die vorhandene Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit deutet an, daß man Brillen brauchen soll, nicht etwa der Umstand, daß man mit Brillen heller sieht, als ohne sie. Daher werden auch für ein Auge nicht jene Brillen passen, mit denen es am schärfsten sieht, sondern die schwächsten von allen denen, mit welchen es in der Sehweite deutlich sieht. Jede Brille soll genau sphärische Krümmungen haben, darum haben auch nicht Brillen von jedem Künstler gleichen Werth. Oft muß

die Brille für ein Auge stärker seyn, als für das andere; manches Auge braucht gar cylindrische Brillen. (Zeitsch. 3. 452.) Gewöhnliche Brillen aus farbigem Glase sind an den dickeren Stellen dunkler als an den dünneren; isochromatische Brillen (aus weißem Glase mit daran gekitteten blauen, allenthalben gleich dicken Schalen) sind sehr zu empfehlen. Periscopische Brillen (aus Menisken) haben zwar den Vortheil, daß man durch sie auch die seitwärts gelegenen Objecte noch deutlich sieht, spiegeln aber zu sehr. Jede Brille soll möglichst nahe am Auge seyn; darum die Sattelbrillen nichts taugen. Beim Auswählen einer Brille soll man stets mit schwächeren anfangen und zu den stärkeren aufsteigen, nicht aber umgekehrt, und man darf nicht vergessen, daß sich das Auge schnell nach der gebrauchten Brille richte, und das Urtheil über die Zweckmäßigkeit einer solchen beirre. Wer daher nicht nach der zweiten Wahl die richtige Brille gefunden hat, fahre nicht fort, noch weitere Auswahl zu treffen, sondern gönne dem Auge einige Ruhe. Betrachtet man eine in ein undurchsichtiges Plättchen gebohrte kleine Oeffnung oder eingeschnittene schmale Spalte durch zwei in einer andern dicht vor das Auge gehaltenen Platte angebrachte einander sehr nahe Oeffnungen oder Spalten, so erscheint erstere einfach oder doppelt, je nachdem sie sich in der Sehweite des Auges befindet oder nicht. Im letztern Falle vereinigen sich nämlich die von ihr ausgehenden durch beide Oeffnungen in das Auge eindringenden Lichtbündel nicht auf der Netzhaut zu Einem Bilde, sondern diese wird an zwei getrennten Stellen afficirt. Hierauf gründen sich eigene Instrumente (Brillenmesser, Optometer), welche schnell die Brennweite der dem Auge angemessenen Brille angeben. (Stampfer in Jahrb. des k. k. polyt. Inst. B. 17.; Adams Anweisung zur Erhaltung des Gesichtes ꝛc., a. d. Engl., Gotha, 1794.)

59. Wenn das Bild auf der Netzhaut noch deutlich wahrgenommen werden soll, so muß es eine gewisse Größe haben, die von der Beschaffenheit des Auges und von der Beleuchtung des Gegenstandes abhängt. Für ein gewöhnliches Auge muß das Bild eines mäßig erleuchteten Objectes $^1/_{1000}$ Z. lang oder breit seyn, mithin unter $^1/_2$ Min. erscheinen; einen glänzenden Silberdraht sieht man aber noch unter einem Winkel von 2 Sec., und selbstleuchtende Gegenstände noch, wenn dieser Winkel nicht mehr meßbar ist, doch bleibt zuletzt von ihnen nur mehr ein Lichtschein übrig. Plateau sah Weiß im Sonnenlichte bei 12″, Gelb bei 13″, Roth bei 23″, Blau bei 26″, im Schatten war jeder Winkel etwa um $^1/_3$ größer. Jeder Lichteindruck braucht sowohl zu seiner vollkommenen Entwicklung als zum völligen Verschwinden eine gewisse Zeit. Diese richtet sich, Plateau's Versuchen zu Folge, bei übrigens gleichen Umständen nach der Farbe. Den dauerndsten und stärksten Eindruck hinterläßt Weiß, dann folgen in der Ordnung: Gelb, Roth, Blau. Die mittlere Dauer aller Farben, vom Momente der größten Stärke an, bis zum völligen Verschwinden beträgt 0″.34. Folgen Eindrücke sehr schnell auf einander, so fließen deren mehrere in einen zusammen, und das Auge erhält von allen nur einen einzigen, continuirlichen Eindruck, es verschwinden die zwischen den einzelnen Affectionen liegenden Pausen, und das Auge erhält eine Reihe zusammenhängender Eindrücke. Geht der Eindruck zu schnell vorüber, so nimmt man nichts davon wahr. Darum sieht man eine

abgeschossene Flintenkugel nicht in ihrem Fluge. Nach Schmidt verschwinden die Umrisse eines $28^1/_2$ Z. vom Auge entfernten Körpers, wenn er in einer Secunde einen Bogen von 198° 51′ und der Gegenstand selbst, wenn er 265° 8′ zurücklegt. Das Deutlichsehen außer der Augenaxe liegender Punkte wird durch die große Beweglichkeit des Augapfels, vermöge welcher mehrere Punkte schnell hinter einander in diese Axe gebracht werden, und durch die den Eindruck überdauernde Wirkung des Lichtes möglich.

60. Von der Größe des Bildes im Auge hängt die scheinbare Größe der auf einmal übersehenen Gegenstände ab; es muß daher alles, was jene ändert, auch eine entsprechende Aenderung in dieser hervorbringen. Nach den Ergebnissen directer an Menschen- und Thieraugen angestellten Beobachtungen schneiden sich die geraden Linien, welche verschiedene Punkte, die zugleich gesehen werden, mit ihren Bildern auf der Netzhaut verbinden, in einem und demselben Punkte im Innern des Auges. Diesen Punkt kann man nach Volkmann den Kreuzungspunkt, jene geraden Linien aber Richtungslinien nennen. Ist daher AB (Fig. 204) ein leuchtender Gegenstand, DE ein Stück der Netzhaut, ba das Bild des Gegenstandes auf ihr, so sind die Geraden Aa, Bb die Richtungslinien für die Punkte A und B, und deren Durchschnittspunkt C ist der Kreuzungspunkt. Kennt man die Lage desselben im Auge, so geben die von den äußersten Punkten A und B irgend eines Gegenstandes durch ihn gehenden Strahlen die Größe des Bildes ba, welches im Auge entsteht. Da diese offenbar von der Größe des Winkels ACB abhängt, so kann man letzteren mit Recht den Gesichtswinkel (angulus opticus) nennen, und als das Maß der scheinbaren Größe eines Gegenstandes ansehen. Er wird aber selbst durch die absolute Größe des Gegenstandes und durch seine Entfernung vom Auge bestimmt, und ist desto größer, je größer jene, und je kleiner diese ist. Die scheinbare Größe eines Gegenstandes, den man nicht auf einmal übersieht, wird theils durch die Größe seiner auf einmal übersehenen Theile, theils durch den Weg bestimmt, den das Auge durchlaufen muß, um alle seine Theile hinter einander zu übersehen.

Der Kreuzungspunkt fällt nach Volkmann (Pogg. Ann. 37, 342; 45. 207) hinter die Krystalllinse nahe in die Mitte des Augapfels; um ihn dreht sich das Auge bei allen seinen Bewegungen, weßhalb er ihn auch den Drehpunkt nennt. Zwei leuchtende Punkte, deren Richtungslinien in dieselbe Gerade fallen, decken sich. Nennt man Richtungsstrahl eine durch zwei Punkte, welche dem Auge sich zu decken scheinen, gezogene Gerade, so sind die Richtungslinien und Richtungsstrahlen derselben identisch, so daß beide Benennungen auch für einen Punkt gemeinschaftlich gebraucht werden dürfen. Der Richtungsstrahl eines Punktes (wenn er sich unter den in das Auge eindringenden Strahlen befindet) trifft dem gemäß, ungeachtet der Brechungen, welche er im Auge erleidet, zuletzt doch jene Stelle der Netzhaut, wohin er gekommen wäre, wenn er ungebrochen durch das Auge hätte gehen können. Den Behauptungen Volkmann's widerspricht zum Theile Mile (Pogg. Ann. 42. 37 u. 235), nach welchem der Kreu-

zungspunkt der Richtungslinien des Sehens entfernter von der Netzhaut als der Mittelpunkt des Auges nämlich im Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut liegen, und vom Drehpunkte des Auges verschieden seyn soll.

61. Das Bild der Gegenstände erscheint zwar im Auge, aber wir versetzen es auf eine uns unbegreifliche Weise außer uns in eine Entfernung von uns, die nicht durch unmittelbare Empfindung gegeben ist, weil sie nicht von dem Wege abhängt, den ein Strahl gemacht hat, bevor er in das Auge kömmt. Alles, was wir über Entfernung einen Gegenstandes von uns wissen, ist Folge eines Urtheils, das durch Empfindungen, die sich mit der Entfernung der Gegenstände vom Auge ändern, bestimmt wird. Diese Empfindungen bestimmen: 1) Der Winkel, den die Augenaxen mit einander machen; d. h. die Linien, welche von einem leuchtenden Punkte aus durch die Mitte beider Augenöffnungen gehen. Wenn wir die Entfernungen eines Gegenstandes beurtheilen wollen, richten wir beide Augenaxen (beim Schielen ausgenommen) auf einen Punkt desselben; je näher dieser liegt, desto größer ist der Winkel der Augenaxen und desto mehr Anstrengung kostet es die Muskeln, diese Richtung herzustellen. Es steht daher die Empfindung dieser Anstrengung mit der Entfernung des leuchtenden Punktes in Verbindung. Dieses Beurtheilungsmittel fehlt dem ganz, der nur mit einem Auge auf einen Gegenstand sieht, darum irrt er sich häufiger in seinem Urtheile, wie folgender Versuch zeigt: Hängt man einen kleinen Ring an einem dünnen Faden frei auf, und stellt sich so, daß man seine Oeffnung nicht sieht, nimmt endlich einen Stab von ungefähr drei Fuß Länge zur Hand, der an einem Ende unter einem rechten Winkel gebogen ist; so wird man mit diesem Haken die Oeffnung des Ringes meistens verfehlen, wenn man bloß mit einem Auge darauf sieht, während man den Ring leicht anfaßt, wenn man beide Augen zu Hilfe nimmt. 2) Die Stärke der Beleuchtung eines Objectes. Nimmt diese ab, so scheint seine Entfernung von uns zu wachsen. 3) Die Menge der zwischen dem Auge und dem Gegenstand liegenden Dinge. 4) Die scheinbare Größe. 5) Seine Lage gegen die Dinge von bekannter Entfernung. Je mehr solche Empfindungen auf unser Urtheil über die Entfernung Einfluß haben, desto richtiger wird es ausfallen. Bei nahen Gegenständen helfen fast alle erwähnten Punkte zusammen, und gewähren uns eine große Sicherheit des Urtheils; je größer die Entfernung wird, desto mehr sieht man sich dieser Hilfsmittel beraubt, bis endlich bei einer Entfernung, welche eine gewisse Grenze übersteigt, nichts übrig bleibt, auf das wir unser Urtheil stützen könnten. — Anders verhält es sich mit der scheinbaren Entfernung der auf einmal gesehenen Gegenstände von einander. Diese wird bloß durch den Abstand der Bilder dieser Gegenstände im Auge bestimmt, und verhält sich daher wie die scheinbare Größe desselben. Darum können wir die Entfernung solcher Objecte von einander, die in der Richtung der Augenaxen liegen, nicht beurtheilen. Bei der Betrachtung eines Gegenstandes mit beiden

auf gehörige Weise gegen ihn gekehrten Augen fallen die Bilder auf der Netzhaut eines jeden an Stellen, und nehmen Gestalten an, welche von der Entfernung und Lage des Gegenstandes gegen die Augen abhängen; eine durch den Gebrauch des Gesichtsorganes begründete Fertigkeit in der Beurtheilung seiner Ueberlieferungen leitet uns an, die durch beide Bilder hervorgerufenen Eindrücke auf Einen Gegenstand zu beziehen, daher wir in der Regel die Gegenstände mit beiden Augen nur einfach sehen. Wenn man aber die Augen mittelst der dieselben bewegenden Muskeln verdreht, wie es beim willkürlichen Schielen der Fall ist, oder ein Auge mit dem Finger seitwärts drückt, und dadurch bewirkt, daß die zwei Bilder in beiden Augen nicht mehr auf die gehörigen Stellen der Netzhaut fallen, so sieht man das Object doppelt. (Zeitsch. 5. 117.)

62. Mit der scheinbaren Größe eines Dinges ist uns zugleich der Umriß seiner uns zugekehrten Fläche, und mit der Entfernung jedes einzelnen Punktes derselben auch zugleich die räumliche Beschaffenheit dieser Fläche gegeben, daher durch beides dessen Gestalt. Nicht selten ist uns zur Beurtheilung der Gestalt eines Körpers innerhalb seiner Umrisse die Vertheilung des Lichtes auf ihm und die Lage seines Schattens behülflich. An einem converen Körper ist immer ein Punkt leuchtender als die anderen (point brillant), und der Schatten eines solchen liegt der Lichtquelle gegenüber; bei einem concaven liegen die Lichtquelle und der Schatten auf derselben Seite. Die Beschaffenheit des Bildes auf der Netzhaut, welches gleichsam eine Projection des Gegenstandes auf die hintere Wand des Auges darstellt, und bei einem erhabenen Gegenstande anders sich gestaltet als bei einem hohlen von ähnlicher Figur und Stellung, liefert an sich schon einen Anhaltspunkt zur Beurtheilung der Converität und Concavität. Bei hinreichend nahen Gegenständen leistet der Gebrauch beider Augen in dieser Beziehung die wichtigsten Dienste, welche Wheatstone's Stereoskop klar nachweiset.

Das Stereoskop besteht aus einem an der Rückseite offenen Kasten ABDC (Fig. 205), an dessen Vorderwand zwei Oeffnungen O, O′ für beide Augen angebracht sind, hinter welchen zwei gegen einander rechtwinklig geneigte ebene Spiegel EF, EG aufgestellt sind, so daß die Halbirungslinie des Winkels FEG die Wand AC in der Mitte zwischen O und O′ senkrecht schneidet, daher die Spiegelfläche EF mit AB und AC und eben so EG mit CD und AC einen Winkel von 45° bildet. Eine auf AB angebrachte Zeichnung wird mittelst des Spiegels EF nur von dem Auge O, und eine Zeichnung auf CD mittelst des Spiegels EG nur von dem Auge O′ wahrgenommen. Durch schickliche Stellung der Zeichnungen und der Spiegelkante E gegen AC, bringt man es leicht dahin, daß beide Bilder an derselben Stelle H gesehen werden. Entsprechen die an AB und CD aufgestellten Zeichnungen den Ansichten eines bald mit dem einen bald mit dem anderen Auge betrachteten erhabenen oder hohlen Gegenstandes, so wird derselbe durch das Zusammenwirken beider Zeichnungen auf das täuschendste dargestellt. So sieht man, wenn man M auf AB, m auf CD setzt, den kleineren Kreis mit dem größeren concentrisch, und ersteren vor oder hinter letzterem schwebend, je nachdem die Stellen X x gegen AC

gekehrt sind oder die entgegengesetzte Lage haben. Unter denselben Umständen stellen die Zeichnungen N, n eine erhabene oder hohle Pyramide dar.

63. Die Lage, welche die Bilder mehrerer Gegenstände im Auge zu einander haben, gibt die scheinbare Lage dieser Gegenstände selbst. Wiewohl das Bild gegen seinen Gegenstand verkehrt erscheint, so haben doch mehrere Bilder unter einander dieselbe Lage, wie die ihnen entsprechenden Dinge außer dem Auge, und erscheinen uns demnach auch in natürlicher Lage. Daß sie aufrecht erscheinen, hat den Grund in der Art, wie das Licht die Netzhaut afficirt. Worin die Natur des Lichtes auch immer bestehen mag, so muß doch die Affection der Netzhaut durch einen Stoß erfolgen, der sich in das Innere derselben in unveränderter Richtung fortpflanzt. Der Stoß der Strahlen, die vom untersten Punkte eines Objectes kommen, nimmt die Richtung durch diesen Punkt von unten nach oben, diejenigen Strahlen, welche vom obersten Punkte ins Auge kommen, zielen von oben nach unten, und es ist daher dem gewöhnlichen Gange unserer Empfindung gemäß, das als unteres zu erkennen, das von unten aus, jenes als oberes, das von oben aus auf das Auge wirkt.

Hält man vor das Auge ein Kartenblatt mit einer kleinen Oeffnung, und zwischen die Oeffnung und das Auge eine Stecknadel, so erblickt man dieselbe außerhalb des Blattes und aus dem angegebenen Grunde in verkehrter Lage, obgleich das Schattenbild der Nadel auf der Netzhaut eine aufrechte Lage hat.

64. Die Bewegung der Bilder im Auge liefert uns den Stoff zur Beurtheilung der Bewegung. Da aber die Bewegung des Bildes nicht bloß von der des Gegenstandes abhängt, sondern auch von der des Auges; so wird man die Frage, welcher Körper eigentlich der bewegte sey, nicht durch den Sinnenschein beantworten können. Die Bewegung selbst ist nur wahrnehmbar, wenn der in einer Secunde zurückgelegte Weg bemerkbar groß ist. Nach Schmidt darf der in einer Secunde zurückgelegte Bogen in der deutlichen Sehweite nicht unter $2^1/_4$ Minuten betragen.

65. Farbe ist Gegenstand der Empfindung und nur in so ferne vorhanden, als es ein empfindendes Subject gibt. Dieselbe hängt daher stets nur zum Theil vom Gegenstande ab, der das Licht ins Auge sendet, zum Theil aber vom sehenden Subjecte. (Manchen Personen mangelt die Fähigkeit, gewisse Farben, besonders Farbenabstufungen, zu unterscheiden. Eine wissenschaftliche Zusammenstellung merkwürdiger Fälle hievon gibt A. Seebeck in Pogg. Ann. 42. 177.) In so ferne gibt es also keine rein objective Farbe. Doch lehrt die Erfahrung, daß Gegenstände in der Regel so lange von derselben Farbe erscheinen, als sie Licht von derselben Brechbarkeit ins Auge senden, zum Beweise, daß diese Brechbarkeit die Farbe hauptsächlich bestimme. Ferner weiß man, daß ein Körper, welcher Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit in gehörigem Verhältnisse ins Auge sendet, weiß erscheint, hingegen schwarz, wenn er von keiner Strahlengattung so

viele dahin schickt, daß ein gehöriger Eindruck gemacht werden kann. Körper, die nicht alle Strahlengattungen, sondern nur einige derselben dem Auge zusenden, erscheinen von der Farbe, die aus ihrem Gesammteindrucke hervorgeht. Fast alle Farben entstehen auf diese Weise durch Zusammensetzung der Eindrücke mehrerer verschiedenfarbigen Strahlen, weil fast kein Körper nur eine einzige Strahlengattung ins Auge sendet, sondern immer mehrere derselben dahin gelangen. Solche Zusammensetzungen verschiedener Farbeneindrücke zu einer einzigen Farbe können Statt finden, wenn verschiedenfarbige Strahlen auf einmal oder schnell hinter einander ins Auge treten; doch erzeugen sie selbst bei einerlei Beschaffenheit der Strahlen nicht in beiden Fällen dieselbe Farbe. Bemalt man mit einem gehörigen Gemenge von Berlinerblau und Gumigutte ein weißes Papier, so erscheint dieses schön grün. Theilt man nun eine Kreisscheibe in zwei Sectoren, bemalt einen mit Gumigutte, den anderen mit Berlinerblau recht stark, und dreht dann die Scheibe, so erhält man eine andere Farbe, die selbst wieder von der Schnelligkeit der Rotation, also von der Folge und der Entwicklung der auf einander folgenden Eindrücke abhängt. Dreht man nämlich nicht so schnell, daß ein gleichförmiger Farbenton hervorgeht, so erscheint auf der Scheibe ein lebhaftes Weiß und Orange, wird aber so schnell gedreht, daß man die Scheibe gleichförmig gefärbt sieht, so erscheint dieselbe vollkommen grau, und nur, wenn man das Blau sehr blaß aufträgt, kann man einen Stich ins Grüne hervorbringen. Aehnliche Erscheinungen erhält man mit anderen Pigmenten. (Pogg. Ann. 20. 328.) Zur Hervorbringung solcher Erscheinungen ist der von Busolt angegebene Farbenkreisel vorzüglich brauchbar. (Pogg. Ann. 32. 656.)

Farbe ist von dem, was man Farbestoff nennt, wesentlich verschieden, wiewohl man oft beide mit dem Worte Farbe bezeichnet. Erstere ist eine eigenthümliche Empfindung, letzterer ein Materiale, welches die diese Empfindung erregenden Strahlen dem Auge zusendet. Einen Körper färben heißt demnach, ihn mit einem Stoffe überziehen oder seine chemische Natur dahin abändern, daß er bestimmte Strahlen reflectirt.

66. Ob eine Farbe für sich, oder nur im Vergleiche mit einer anderen, entweder vorliegenden oder im Gedächtniß behaltenen, bestimmt werden kann (etwa so, wie man die Höhe eines Tones nur im Vergleiche mit einem anderen beurtheilen kann), darüber haben sich die Physiker bis jetzt noch nicht bestimmt ausgesprochen; doch ist letzteres das wahrscheinlichere. In vielen Fällen tritt bei der Bestimmung einer Farbe der subjective Einfluß des Sehenden gar sehr hervor. Es wird nämlich das Auge durch einen vorhergehenden starken oder länger dauernden Eindruck für einen nachfolgenden derselben Art eine gewisse Zeit lang unempfindlich; gar oft empfindet es auch von zwei gleichzeitigen Eindrücken nur den stärkeren, und beharrt selbst hierin einige Zeit, wenn dieser durch Abhaltung des mit ihm contrastirenden isolirt und sodann die Quelle des Contrastes unterdrückt oder verändert wor-

den ist. Die von den angeführten Umständen abhängenden Farben heißen daher mit Recht **subjective**. **Göthe** nennt sie **physiologische**, andere heißen sie **zufällige** Farben.

Als Beispiele dieser zwei Erregungsarten subjectiver Farbenerscheinungen mögen Folgende dienen: Sieht man eine rothe Schrift auf weißem, von der Sonne wohl beleuchteten Papiere lange unverwandt an, und blickt dann auf eine minder beleuchtete weiße Fläche; so sieht man dieselbe Schrift in grünen Zügen. War die Schrift orange, so sieht man sie auf dem zweiten Papiere blau, war sie gelb, so erscheint sie violett. Die vor den Augen schwebenden Farben, wenn man in die Sonne gesehen hat und dann die Augenlieder schließt u. d. m. gehören hierher. Hier wird das Auge für rothe Strahlen unempfindlich gemacht; kommen dann weiße in dasselbe, so bleibt nur der Eindruck derjenigen übrig, die das Sonnenlicht nach Wegnahme der rothen enthält, nämlich der grünen. Daß dieses die wahre Erklärung dieser subjectiven Farben sey, beweiset der Umstand, daß, wenn man den früher erwähnten Versuch mit einem Auge anstellt und das andere verschlossen hält, beim wechselseitigen Oeffnen des einen oder des andern die subjective Farbe nur in dem wahrgenommen wird, das den längeren Eindruck des Lichtes erlitten hat. Bringt man an dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers zwei geräumige Oeffnungen an, stellt dann vor sie einen undurchsichtigen Körper, der von dem durch jede Oeffnung eintretenden Lichte einen Schatten werfen kann; so erhält man auf einer weißen Tafel natürlich zwei Schattenbilder, die grau sind, weil der einem Lichte entsprechende Schatten in den beleuchteten Raum des anderen fällt. Stellt man aber vor die eine Oeffnung ein rothes Glas, so erscheint der ihr zugehörige Schatten von der complementären Farbe des Glases, in unserem Falle grün, während der von der anderen Oeffnung herrührende Schatten die rothe Farbe annimmt. Etwas ähnliches läßt sich mit anderen gefärbten Gläsern bewirken. Die Erklärung fließt aus dem vorhin Gesagten ganz ungezwungen; denn ist z. B. R (Fig 206) die mit dem rothen Glase bedeckte Oeffnung, A die unbedeckte, weißes Licht gebende, C der undurchsichtige Körper, welcher den Schatten wirft, r der Schattenraum, welcher durch R, und a derjenige, welcher durch A beleuchtet wird; so ist klar, daß in den unbeschatteten Raum b rothes und weißes Licht falle, und da das weiße selbst wieder rothes enthält, so ist das rothe das überwiegende, jedoch wird r mehr roth erscheinen, weil es nur allein rothe Strahlen empfängt. Die rothen Strahlen, welche das in a befindliche weiße Licht enthält, können gar keine Empfindung erregen, und es bleibt nur diejenige Affection übrig, welche das weiße Licht nach Hinwegnahme des rothen Antheils bewirkt. Betrachtet man nachher den grünen Schatten durch ein alles andere Licht abhaltendes geschwärztes Rohr, so erscheint er fortdauernd grün, ohne daß der Contrast mit dem rothen Lichte der Umgebung mitwirkt; allein daraus läßt sich Nichts gegen obige Erklärung folgern, weil die Erscheinung der grünen Farbe nicht Statt findet, wenn man das Rohr vor Anwendung des rothen Glases gegen den Schatten richtet, aber augenblicklich eintritt, wenn man das Rohr beseitiget. Die früher isolirte grüne Farbe dauert auch fort, wenn das rothe Glas weggenommen, ja sogar wenn ein anderes gefärbtes Glas vor die Oeffnung gesetzt wird, aber nach Entfernung des Rohres sieht man im Schatten augenblicklich die dem letzten Glase entsprechende Ergänzungsfarbe (**Fechner** in Pogg Ann. 44, 221 u. 513). Die schönen blauen Schatten, welche sich während der Dämmerung in einem durch Kerzenlicht er-

leuchteten Zimmer zeigen, und vornehmlich auf der gelblich röthlichen Färbung dieses Lichtes beruhen, und viele andere, die man vorzüglich in Göthe's Farbenlehre angegeben findet, gehören hieher, und werden auf gleiche Weise erklärt. Dieselbe Bewandtniß hat es mit den complementär gefärbten Bildern schmaler undurchsichtiger Gegenstände in mit Spiegelfolie belegten Tafeln aus gefärbtem Glase. (Scherffer über zufällige Farben. Wien 1765. Zschokke über gefärbte Schatten. Aarau, 1826. Göthe's Farbenlehre. Plateau in Zeitsch. n. F. 3. 190 und in Pogg. Ann. 32, 543. Osann in Pogg. Ann. 37, 287; 42, 72. Pohlmann ebend. 37, 319.)

67. Aus dem Vorhergehenden ist klar, daß das Auge von Objecten, die an Größe, Entfernung, Gestalt verschieden sind, dieselben Eindrücke bekommen kann, wie von solchen, die in diesen Verhältnissen mit einander übereinstimmen und umgekehrt. Baut der Verstand auf diese Eindrücke ohne weitere Untersuchung ein Urtheil, so irrt er, und unterliegt einer optischen Täuschung.

Es ist nicht schwer, den Grund jeder einzelnen optischen Täuschung aufzufinden. Zur Uebung im Erklären folgen hier einige. Täuschungen in Bezug auf Größe und Entfernung: In einer aus parallelen Baumreihen bestehenden Allee convergiren die entfernteren Reihen immer mehr; der Fußboden eines langen Saales scheint sich an den ferneren Stellen zu erhöhen, die Decke aber sich zu senken; eine Thurmspitze neigt sich gegen den Beobachter; durch eine kleine Oeffnung sieht man viele und sehr große Gegenstände; ein Finger vor das Auge gehalten deckt ganze Gebäude, scheint also eben so groß als diese; eigens gezeichnete Bilder (optische Zerrbilder) scheinen verzerrt und in die Länge gezogen, wenn man sie wie ein gewöhnliches Bild ansieht, hingegen recht wohl proportionirt, wenn man sie schief durch ein kleines Loch betrachtet. Auf einem ebenen Papiere scheinen uns gezeichnete Gegenstände eine sehr verschiedene Entfernung zu haben (Panorama). Weiße Gebäude hält man für näher, als sie sind. In großen Ebenen, über Wasser, schätzt man Entfernungen für zu gering. Das Himmelsgewölbe (Firmament) scheint keine Halbkugel, sondern bloß ein Kugelsegment zu seyn. Die Sonne, der Mond, die Sterne scheinen daran angeheftet, und erstere Körper beim Auf- oder Untergehen weit größer als wenn sie einen hohen Stand haben. Ein Gleiches gilt von den Distanzen der Sterne oder von der scheinbaren Ausdehnung der Sternbilder. Täuschungen in Bezug auf Gestalt und Bewegung: Der Mond, die Sonne erscheinen als Scheiben. Eine mit Kerzenlicht beleuchtete erhabene Fläche durch ein optisches Instrument, das ein verkehrtes Bild gibt, angesehen, erscheint als Höhlung, und eine Höhlung unter denselben Umständen als Erhabenheit. Eine weit entfernte Pyramide erscheint als Kegel, ein Prisma als Cylinder. Die Sonne scheint auf- und unterzugehen; sieht man von einer Brücke längere Zeit in fließendes Wasser hinab, so scheint die Brücke stromaufwärts zu gehen; einem Schiffenden scheinen die am Ufer befindlichen Gegenstände sich zu bewegen. Schüttelt man den Kopf schnell, während man auf ein Object hinsieht, so sieht man dieses zittern. Eine glühende, schnell im Kreise bewegte Kohle erscheint als glühender Reif. Zeichnet man auf eine Seite einer papierenen Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel, und dreht die Scheibe schnell um eine in ihrer Ebene liegende Axe, so glaubt man den Vogel im Käfig zu sehen (Thaumatrop, *trompe d'oeil.*) Sieht man durch die Zwischenräume eines Gitters auf die Speichen eines schnell

vorbei rollenden Wagenrades, so sieht man das Rad nicht sich drehen, sondern statt dessen unbewegliche Curven auf der Radfläche. (Zum Behufe der Erklärung dieser Erscheinung muß man sich das Gitter im Fortschreiten und das Rad bloß im Drehen, aber nicht zugleich im Fortschreiten begriffen denken, und sich anfangs nur eine Gitteröffnung und eine Speiche vorstellen. Diese beiden Linien schneiden sich bei ihrer Bewegung in einer Reihe von Punkten, welche die gedachte Curve geben. Sind diese beiden Bewegungen gleichförmig, so wiederholt sich dieselbe Erscheinung, so oft Speiche und Oeffnung in dieselbe Lage zurückkehren, und macht, daß diese Curve unbeweglich erscheint.) Läßt man einen geschwärzten Kreisel vor einem Kerzenlichte oder im Sonnenscheine auf weißem Papiere spielen, so sieht man an der Stelle, wo sich die Scheibe des Kreisels und ihr Schatten decken, feststehende besonders gekrümmte Linien. Setzt man zwei parallele Scheiben mit zahnartigen Ausschnitten in Bewegung, und sieht so auf sie hin, daß man beide zugleich erblickt; so bemerkt man an der Stelle der Zähne einen gleichförmig erleuchteten Streifen, scheinen sich aber die Räder zu decken, so sieht man die Zähne ruhig und wie in einem Nebelschleier. Versieht man, wie es bei den von Stampfer erfundenen stroboskopischen Scheiben der Fall ist, eine Pappscheibe gegen ihren Umfang hin mit einer großen Anzahl rechteckiger Oeffnungen, und bemalt eine ihrer Flächen mit verschiedenen Figuren, als Thier- und Menschengestalten, Maschinentheilen rc., die eine zusammenhängende Bewegung vorstellen, und läßt dann die Scheibe vor einem Planspiegel schnell kreisen, während man durch deren Löcher in den Spiegel sieht, so erblickt man darin jene Zeichnungen in der zusammenhängenden Bewegung, welche ihre einzelnen von einander getrennten Theile vorstellen, die bloß periodisch (drehend oder oscillirend) oder auch progressiv ist, je nachdem die in verschiedenen Stellungen verzeichneten Figuren gegen die Löcher gleichgestellt sind, oder deren Abstände von den Löchern variiren. Auf ähnlichen Gründen beruht auch Plateau's Phantasmaskop und Horner's Dädaleum. (Pogg. Ann. 5. 93; Zeitsch. 10. 80; 22. 601; 32. 636 u. 650; *Annal. de Ch.* 53. 304.) Täuschungen in Bezug auf Farbe: Eine Scheibe, die auf einer Seite zur Hälfte blau, zur Hälfte gelb bemalt ist, erscheint ganz grün, wenn man sie schnell um eine auf ihrer Ebene senkrechte Axe dreht. Eben so erscheint sie orange, wenn man sie halb gelb und halb roth malt. Eine in verschiedenen concentrischen Kreisringen in verschiedenem Flächenverhältnisse mit Weiß und Schwarz bedeckte Scheibe erscheint, wie Fechner beobachtet hat (Pogg. Ann. 45. 227), bei schneller Rotation verschieden gefärbt, da die Eindrücke der im weißen Lichte enthaltenen farbigen Strahlen mit verschiedener Schnelligkeit im Auge verschwinden und entstehen. Sieht man auf einen weit entfernten Gegenstand hin, hält ein Kerzenlicht nahe an ein Auge zur rechten oder linken Seite, und bringt dann einen Streifen weißes Papier vor dasselbe, so erscheint dieser doppelt, und zwar wird ein Bild grün, das andere roth gesehen. Viele Täuschungen beruhen auf einer krankhaften Körperbeschaffenheit. So sieht z. B. der Gelbsüchtige alles gelb. Daß es Menschen gibt, denen die Fähigkeit mangelt gewisse Farben zu unterscheiden, wurde bereits oben (65) angeführt. Es soll sogar Menschen geben, die in Folge einer abnormen Beschaffenheit der Augen alles verkehrt, und andere, die alles doppelt sehen. (Zeitsch. 2. 247; 4. 378; 6. 232.)

Achtes Kapitel.

Optische Instrumente.

68. Manches Object erscheint dem freien Auge entweder wegen seiner zu großen Entfernung oder wegen seiner zu geringen Ausdehnung unter einem zu kleinen Gesichtswinkel, als daß man es noch deutlich sehen könnte; öfters hat es auch eine für mehrere Zwecke zu unbequeme Lage. Um solche Objecte größer und daher auch deutlicher oder in einer besseren Lage zu sehen, braucht man eigene, optische Instrumente, die aus Linsen, oder aus Linsen und Spiegeln zusammengesetzt sind. Die vorzüglichsten derselben sind die Mikroskope und die Teleskope (Fernröhre). Daher soll von diesen zuerst und am ausführlichsten die Rede seyn, um so mehr, als jeder, welcher die Construction dieser versteht, sich die Kenntniß des Baues der übrigen optischen Instrumente leicht eigen machen wird.

Mikroskope.

69. Ein Mikroskop dient dazu, einen nahen Gegenstand unter einem vergrößerten Gesichtswinkel zu sehen. Man hat mehrere Arten derselben, und zwar einfache und zusammengesetzte Mikroskope. Ein einfaches Mikroskop besteht nur aus einer einzigen Linse oder aus mehreren dicht an einander gestellten, die zusammen wie eine einzige wirken; ein zusammengesetztes aus mehreren Linsen oder aus Spiegeln und aus Linsen. Im ersteren Falle heißt es ein dioptrisches, im letzteren ein katoptrisches Mikroskop.

70. Streng genommen ist jede Convexlinse, ihre Brennweite mag wie immer beschaffen seyn, ein einfaches Mikroskop, weil sie von einem Gegenstande, der sich innerhalb ihrer Brennweite befindet, die Strahlen so ins Auge sendet, als kämen sie von einem größeren Objecte her. Man bedient sich solcher Gläser oft zum Lesen, gibt ihnen dann eine große Oeffnung, damit man mit beiden Augen, wiewohl zu ihrem Nachtheile, zugleich durchsehen kann, und eine bedeutende Brennweite, damit die Axen der Strahlenkegel, die von einem leuchtenden Punkte in beide Augen gehen, mit der Axe des Glases keinen zu großen Winkel machen. Man nennt aber vorzugsweise nur solche Convexlinsen einfache Mikroskope, deren Brennweite viel kleiner ist, als die deutliche Sehweite. Beträgt ihre Brennweite einige Zolle, so heißt man sie Loupen. Es sey AB (Fig. 207) ein Gegenstand, der in der Sehweite unter einem zu kleinen Winkel erscheint, als daß er deutlich gesehen werden könnte. Man könnte den Sehwinkel allerdings vergrößern, wenn man AB näher ans Auge rückte, allein dadurch ginge die Deutlichkeit völlig verloren; man wird ihn aber ohne Verlust derselben dem Auge viel näher bringen können, wenn man eine mikroskopische Linse CD zwischen AB und das Auge stellt, durch deren Wirksamkeit die Strahlen von AB so gebrochen werden, als kämen sie von einem vergrößerten Gegenstande A′B′ her, welcher sich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet.

71. Man denke sich das Auge sehr nahe an der Linse, und diese von der Art, daß man ihre Dicke vernachläßigen und sich das Auge in ihrem optischen Mittelpunkte O vorstellen kann, ferner sey A′B′ in der Entfernung des deutlichen Sehens mit freiem Auge: so wird die Vergrößerung m, welche die Linse gewährt, offenbar durch den Quotienten $\frac{A'B'}{AB}$ gemessen. Aber es ist

$$A'B' : AB = OB' : OB \text{ oder } \frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB}, \text{ mithin } m = \frac{OB'}{OB}$$

Zwischen OB, der Entfernung des Gegenstandes von der Linse; OB′, der Entfernung des Bildes von derselben und der Brennweite p der Linse, findet die in 36 abgeleitete Gleichung (C) Statt. Da aber hier OB′ eine in Bezug auf den bei der Ableitung genannter Gleichung angenommenen Ort des Bildes entgegengesetzte Lage hat, so muß man $OB' = -\alpha$ setzen, während $OB = a$ ist. Dem gemäß wird $\frac{1}{OB} - \frac{1}{OB'} = \frac{1}{p}$, woraus $\frac{OB'}{OB} = \frac{OB'}{p} + 1$ folgt, mithin, wenn man unter der Voraussetzung, daß das Auge der Linse möglichst nahe stehe, die der OB′ gleiche Sehweite durch h vorstellt:

$$m = \frac{h}{p} + 1.$$

Es ist also die Zahl der linearen Vergrößerung um die Einheit größer, als der Quotient aus der Brennweite der Linse in die deutliche Sehweite. Das Quadrat dieser Zahl gibt die Vergrößerung der Fläche nach. Bei den gewöhnlichen Angaben der Vergrößerung durch Mikroskope ist stets letztere zu verstehen. — Hieraus sieht man zugleich, daß dieselbe Linse für ein weitsichtiges Auge mehr, für ein kurzsichtiges weniger vergrößere, als für ein gesundes, und daß ein einfaches Mikroskop desto mehr vergrößere, je kürzer die Brennweite der Linse ist. Man hat solche Linsen, die über 40,000mal vergrößern, deren Brennweite daher weniger als $^1/_2$ L. beträgt. Indeß ist die Stärke der Vergrößerung nicht das einzige, wovon der Werth eines solchen Instrumentes abhängt. Es gehört dazu auch, daß das Bild deutlich erscheine. Dieses wird der Fall seyn, wenn die Linse vollkommen sphärische Krümmungen hat, die Halbmesser derselben so eingerichtet sind, daß die sphärische Abweichung nahe ein Kleinstes ist, und die Randstrahlen durch die Fassung abgehalten werden. Zur Vermeidung einer großen chromatischen Abweichung ist es gut, die Linse aus einem Stoffe zu verfertigen, der bei einem großen Brechungsvermögen ein kleines Zerstreuungsvermögen besitzt. Daher thun Linsen aus Edelsteinen, z. B. aus Diamant, Saphir rc. so gute Dienste. Mittelst so beschaffener Linsen kann man die feinsten Gegenstände, wie z. B. die Parallelstreifen auf den Schuppen der Schmetterlingsflügel, deutlich sehen, man wird sich aber mit einem geringen Gesichtsfelde (Raum, den man auf einmal übersieht) begnügen müssen, und beim Gebrauche die Ungemächlichkeit nicht scheuen dürfen, welche aus der Nothwendigkeit entspringt, das Auge recht nahe an die Linse zu bringen.

Man kann statt einer Linse auch eine mit Wasser oder Weingeist gefüllte Glaskugel, oder gar nur einen Wassertropfen auf einem durchlöcherten Metallplättchen als Mikroskop brauchen. Brewster empfiehlt dazu die Krystallinsen aus Fischaugen. Daß bei starken Vergrößerungen das Object hinreichend beleuchtet seyn müsse, versteht sich von selbst. Dieses bewirkt man meistens mittelst eines unter dem Objecte angebrachten Hohlspiegels, oft wendet man aber noch überdieß eigene Hohlspiegel an, die man an die Fassung der Linse ansteckt, damit sie das die Linse verfehlende Licht auf den Gegenstand zurücksenden. Sie heißen Lieberkühn'sche Spiegel, und sind besonders bei opaken Objecten von Nutzen. Jedes dieser Instrumente kann auch gebraucht werden, ohne das Auge so nahe an das Glas zu halten, als vorhin vorausgesetzt wurde, wenn überhaupt die Oeffnung desselben nur etwas bedeutend ist. Je weiter das Auge vom Glase entfernt ist, desto mehr scheint das Object vergrößert, aber desto kleiner wird das Gesichtsfeld. Bei den sogenannten Wilson'schen Loupen steht das Auge im Brennpunkte des Sammelglases, welches zu diesem Behufe in ein Röhrchen mit einer Oeffnung für das Auge gefaßt wird.

72. Zu den einfachen Mikroskopen kann man auch diejenigen zählen, welche aus zwei Converlinsen A und B bestehen (Fig. 208), die sich sehr nahe neben einander befinden, und eigentlich die Stelle einer einzigen mehr converen vertreten, dabei aber eine größere Lichtstärke (Helligkeit) gewähren, als eine einzelne, eben so vergrößernde Linse, und eine geringere sphärische Abweichung verursachen. Der Gegenstand ab steht so gegen beide Gläser, daß die Strahlen nach ihrer Brechung in A so auf B fallen, als kämen sie von a' b' her, und erleiden durch dieses Glas eine solche Modification, daß sie ins Auge kommen, als wenn sie von einem Gegenstande a'' b'' ausgingen, der sich in der deutlichen Sehweite befindet. Es ist begreiflich, daß man auf dieselbe Weise drei Linsen zusammensetzen kann.

Chevalier hat dieses Mikroskop so eingerichtet, daß man den Gegenstand gleich auf einem matten Glase, oder auf einem durchscheinenden Papiere wahrnehmen kann. A und B sind in seinem Instrumente Planconverlinsen, deren Converitäten einander zugekehrt sind, ab ist durch einen Concavspiegel hinreichend erleuchtet, und die Strahlen fallen bei ihrem Austritte aus B auf ein dreiseitiges und gleichschenkeliges Prisma, wie CED ist, dringen durch CE auf die Hypotenuse DE, die mit Papier belegt ist, werden nach CD reflectirt, so daß man oberhalb CD auf einem matten Glase den Gegenstand sehen und ohne Beschwerde nachzeichnen kann. (*Bulletin de la Société d'encouragement. Nov.* 1822.) In die Reihe dieser Instrumente gehört das neue Wollaston'sche Mikroskop mit zwei Planconverlinsen von verschiedener Brennweite, die mit den ebenen Flächen gegen das Object gekehrt sind, auf die aber das Licht, welches das (durchsichtige) Object beleuchtet, und mittelst eines kleinen Planspiegels die gehörige Richtung erlangt, vorerst durch eine Converlinse gelangt (Fig. 209). Die Wirkung eines solchen Mikroskops ist sehr zufriedenstellend. (Pogg. Ann. 16. 176. Zeitsch. 8. 484.)

73. Die gewöhnlichen zusammengesetzten Mikroskope haben folgende Einrichtung: A (Fig. 210. a) ist eine Sammellinse, BC ein Gegenstand, der etwas außer ihrer Brennweite steht und daher hinter A ein verkehrtes und vergrößertes Bild bc gibt; D ist eine

mikroskopische Linse, die gegen b c so steht, wie im einfachen Mikroskope die Linse gegen ihren Gegenstand. Zu einem besonderen Zwecke wird in E (Fig. 210. b) eine dritte Convexlinse angebracht. A heißt Objectivlinse, E Collectivlinse, D Ocularlinse. Die Collectivlinse fängt die aus dem Objectiv tretenden Strahlen, ehe sie sich zum Bilde b c vereinigt haben, auf, und es entsteht dadurch ein von der Objectivlinse weniger entferntes und kleineres Bild b′c′, das durch die Ocularlinse betrachtet wird. Um den Ort des durch die Collectivlinse modificirten Bildes eines Punktes des Gegenstandes, z. B. B zu finden, hat man von dem Mittelpunkte der Linse E zu dem correspondirenden Punkte b im Bilde, welches die Objectivlinse für sich allein erzeugt hätte, eine gerade Linie, den Hauptstrahl für die Linse E, zu ziehen, und in ihr E b′ der aus der Gegenstandsweite E b folgenden Bildweite gemäß aufzutragen. Bei dieser Zusammensetzung der Linsen erhält man im Gesichtsfelde des Ocularglases ein verkehrtes und vergrößertes Bild des Gegenstandes. Stehen überdieß die Krümmungen, Brennweiten, Oeffnungen der Linsen und ihre gegenseitigen Stellungen im gehörigen Verhältnisse; so ist dieses Bild auch deutlich und hell, und man genießt ein gehörig großes Gesichtsfeld. Dieses hängt von dem Winkel ab, den die äußersten der durch die Mitte des Objectives gehenden Strahlen mit einander machen, welche noch ins Auge gelangen können. Der vortheilhafteste Platz für das Auge ist der Ort, wo diese Strahlen nach dem Austritte aus dem Ocular die Axe des Instrumentes durchschneiden. Man wird aber nur bei einer sehr guten Einrichtung des Ganzen die Deutlichkeit erlangen, welche ein einfaches Mikoskrop gewährt, weil die Undeutlichkeit des vom Objectve gemachten Bildes durch das Ocular noch gesteigert wird. Um zu sehen, wovon jeder dieser Vorzüge für sich abhängt, muß man die einzelnen Theile eines Mikroskops, vorzüglich die Objectivlinse und die Ocularlinsen, für sich betrachten.

74. Eine gewöhnliche, einfache Objectivlinse wird selbst bei der vollkommensten sphärischen Gestalt und der zweckmäßigsten Anordnung ihrer Krümmungen immer ein mit der chromatischen Abweichung behaftetes Bild geben; darum muß man sie durch eine Flintglaslinse achromatisiren. Die Flintglaslinse wird dem Objecte zugewendet. Es ist allerdings theoretisch möglich, die vier Krümmungen einer solchen Doppellinse so einzurichten, daß mit der chromatischen Abweichung auch die sphärische größtentheils aufgehoben, mithin die Linse aplanatisch wird; aber in der Ausführung hat dieses, bei der geringen Größe der Krümmungshalbmesser, große Schwierigkeiten. Darum bleibt gewöhnlich bei den achromatischen Doppellinsen, besonders wenn sie sehr kurze Brennweiten haben, von jeder der zwei Abweichungen ein Theil übrig. Um diesen zu heben, braucht man oft drei Linsen, allein diese machen das Bild nur von der chromatischen Abweichung freier, vergrößern aber nicht selten die sphärische. Letztere hebt man am besten, wenn man zwei oder gar drei möglichst gut achromatisirte Doppellinsen unmittelbar über einander schraubt. Solche

Objective geben aber nicht bloß ein deutlicheres, sondern auch ein helleres Bild, als die gewöhnlichen, weil man den einzelnen Linsen eine größere Oeffnung geben kann, ohne eine Undeutlichkeit befürchten zu dürfen, und dadurch von jedem Punkte des Objectes einen größeren Lichtkegel ins Auge bringt, als bei einer gewöhnlichen Linse. Indeß haben solche Linsen doch den Nachtheil, daß man das Object sehr nahe an die äußerste derselben stellen muß. — Das Bild, welches eine Objectivlinse macht, wird desto größer seyn, je kürzer die Brennweite der Linse ist, und je näher man das Object an den Brennpunkt derselben rückt (oder falls das Objectiv aus mehreren Linsen besteht, je näher das von der vorletzten gemachte Bild am Focus der letzten Linse liegt). Mit der Zunahme der Vergrößerung muß aber die Oeffnung der Linse und mithin auch die Lichtstärke des Bildes abnehmen, und, wenn das Bild nicht vollkommen deutlich ist, auch die Undeutlichkeit wachsen.

75. Das **Ocular** dient nur als einfaches Mikroskop, durch welches das vom Objective gemachte Bild vergrößert wird; deßhalb muß es nach denselben Regeln construirt seyn, nach welchen ein solches Mikroskop eingerichtet wird. Doch wird man ein Ocular keineswegs mit so kurzer Brennweite versehen dürfen, wie man es bei einem einfachen Mikroskope thut, weil das auf einmal zu übersehende Stück des Bildes und daher noch mehr das des Objectes zu klein ausfiele, in den meisten Fällen auch die Lichtstärke zu gering wäre und die Deutlichkeit des Bildes völlig verloren ginge. Denn das vom Objective gemachte Bild ist nie ganz frei von beiden Abweichungen, und mit der Vergrößerung des Bildes wird natürlich auch jede Undeutlichkeit vergrößert. Darum verträgt ein Mikroskop ein desto schärferes Ocular, je vollkommener sein Objectiv ist, darum kann man bei aplanatischen Objectiven dem Oculare einen größeren Theil der Vergrößerung überlassen, als bei den gewöhnlichen. Man muß aber selbst bei der besten Einrichtung des Objectives die chromatische und sphärische Abweichung des Oculars zu heben oder auf ein Kleinstes zu bringen suchen. Zu ersterem Zwecke wird das Collectivglas angebracht, dessen Function man aus Folgendem ersehen wird: Es sey A a (Fig. 211) ein von dem Objective kommender, auf die Collectivlinse fallender Lichtstrahl. Durch diese wird er gebrochen und zugleich zerstreut, so daß der violette Theil die Richtung a c, der rothe die Richtung a b erhält, und daher einer die Axe des Instrumentes früher schneidet als der andere. Allein wenn sie, bevor sie ins Auge kommen, noch durch die Linse O gehen müssen, so wird der violette Strahl, der sie an einer ihrer Axe näheren Stelle trifft, weniger abgelenkt, als der rothe, und bei gehöriger Anordnung der zwei Linsen werden diese Strahlen mit einander parallel, wie b x und c y. Die sphärische Abweichung des Oculars macht man dadurch unschädlich, daß man Linsen von der besten Form oder Planconvexlinsen, mit der Krümmung gegen das Object gekehrt, anwendet, und etwa ihre halbe Oeffnung mittelst der Fassung deckt. Uebrigens ist es klar, daß man für dasselbe Objectiv

mehrere Oculare und für dasselbe Ocular mehrere Objective brauchen kann, die stufenweise mehr vergrößern. Plößl, dessen Mikroskope mit Recht einen ausgezeichneten Ruf genießen, braucht oft mit Vortheil als Ocular zwei achromatisirte Linsen.

76. Das Objectiv und die Oculare müssen in eine Röhre eingeschlossen seyn, die inwendig zur Abhaltung alles Seitenlichtes geschwärzt ist, und ihre Axen müssen in eine gerade Linie fallen. Da, wo das vom Objective gemachte Bild seinen Platz hat, wird überdieß noch ein kreisförmiger Ring (Diaphragma) angebracht, der alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerstreute Licht abhält, ja sogar oft einen Theil des Bildes selbst hindert, die Strahlen auf das Ocular zu senden. Das Object wird auf einer besonderen Unterlage an einem eigens dazu bestimmten Tische angebracht, der sich dem Objective nähern und davon entfernen läßt, wenn nicht vielleicht das Objectiv selbst gegen denselben beweglich ist, um so das von letzterem gemachte Bild stets in das Diaphragma bringen zu können. Um eine hinreichende Helligkeit zu erzielen, wird das Object eigens mittelst Tages- bequemer mittelst Lampenlicht beleuchtet. Für durchsichtige Gegenstände dient ein Concavspiegel, der unter dem Tische nach allen Seiten beweglich angebracht ist, dessen Randstrahlen, wo die Beleuchtung (zum Vortheile der Schärfe der Bilder) gemäßigt werden darf, durch ringförmige Schirme von zweckmäßiger Größe abgehalten werden können; für opake Objecte hat man gewöhnliche Sammellinsen oder noch besser eine prismatische Linse, wie sie Fig. 212, A darstellt. In diese dringt das Licht durch die gekrümmte Fläche ab ein, erleidet an der ebenen, mit der Fassung belegten Fläche ac eine Reflexion gegen die zweite gekrümmte Fläche bc, und gelangt so concentrirt auf das Object de. Fig. 212 stellt ein zusammengesetztes Mikroskop vor.

77. Bei der Beurtheilung eines Mikroskopes hat man hauptsächlich auf die Reinheit und Größe des Gesichtsfeldes, auf die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und auf die Stärke der Vergrößerung zu sehen.

78. Das Gesichtsfeld soll nicht bloß in der Mitte, sondern bis auf den äußersten Rand rein und farblos seyn und eine hinreichende Größe haben. Letztere bestimmt man am besten mittelst eines hinreichend fein getheilten Mikrometers, indem man ihn als Object braucht und die Anzahl der auf einmal übersehenen Theilungsfelder zählt.

79. Die Deutlichkeit und Klarheit der Bilder schätzt man mittelst zweckmäßig gewählter Probeobjecte. Als solche sind vorzüglich die obersten Schuppen der Schmetterlingsflügel brauchbar, wie z. B. die vom Papilio Crataegi und Brassicae oder vom Papilio Menelaus oder von der Kleidermotte. Diese Schuppen sind auf ihrer Oberfläche der Länge nach mit feinen, parallelen Streifen versehen. Je deutlicher diese Linien erscheinen und bei je geringerer Vergrößerung man sie sieht, desto größer ist die Deutlichkeit des Bildes.

Die Längenstreifen des Papilio Crataegi, Brassicae und Menelaus sollen bei 60—80maliger linearer Vergrößerung erscheinen, bei 100—200maliger soll man auch die Zwischenräume sehen und den Stiel als conische Röhre erkennen. Die Streifen auf den Schuppen der Motte zeigen nur die besten Instrumente bei einer 300—400maligen Vergrößerung. Ganz vorzügliche Instrumente machen da auch Querlinien bemerkbar. Es ist überhaupt gut, irgend ein Object, dessen vergrößertes Bild man durch öfteres Anschauen im Gedächtnisse hat, zur Prüfung eines Mikroskopes zu wählen.

80. Die Stärke der Vergrößerung eines Mikroskopes kann man entweder aus den bekannten Brennweiten der Linsen und ihrer Entfernung von einander und vom Objecte durch Rechnung finden, oder durch Versuche ausmitteln. Im ersteren Falle sucht man die durch das Objectiv (41) und dann die durch das Ocular (71) bewirkte Vergrößerung. Das Product beider gibt die Vergrößerung des Mikroskopes. Bei der practischen Bestimmung der Vergrößerungszahl kann man auf zweifache Weise verfahren und entweder die ganze Vergrößerung auf einmal suchen, oder jeden der zwei Theile, aus denen sie besteht, besonders bestimmen. Die durch das Objectiv bewirkte Vergrößerung läßt sich auf practischem Wege so finden: Man betrachte ein Mikrometer als Object und zähle, wie viele Felder seines Gitters man auf einmal übersieht. So vielmal nun der Durchmesser des übersehenen Stückes in dem Durchmesser des Diaphragma's enthalten ist, so vielmal vergrößert das Objectiv linear. Oder man nehme zwei ganz gleiche Mikrometer, lege einen als Object auf den Tisch des Instrumentes, den anderen in das Diaphragma unter dem Oculare. Da der eine nur durch das Ocular, der andere durch das Objectiv und Ocular zugleich vergrößert wird, so braucht man nur zu beobachten, wie viele Theile des einen in einen Theil des anderen fallen, um zu erfahren, wie vielmal das Objectiv vergrößere. Die vom Oculare herrührende Vergrößerung kann man nur durch Rechnung bekommen. Durch Multiplication der vom Objectiv hervorgehenden Vergrößerung mit der vom Oculare erzeugten erhält man wieder die ganze Vergrößerung des Instrumentes. Zur Bestimmung der ganzen vergrößernden Wirkung des Mikroskopes ist vorzüglich das vom Freiherrn von Jacquin angegebene Verfahren zu empfehlen. Man befestiget nämlich über dem Oculare einen kleinen Planspiegel so, daß er gegen die Axe des Instrumentes um 45° geneigt ist, und legt ein Mikrometer als Object ein. Da sieht man nun in dem Spiegel das Bild des Objectes in horizontaler Richtung an einer gegenüber stehenden Wand, wenn das Mikroskop vertical steht. Ist diese Wand in der deutlichen Sehweite und mit einer in Linien getheilten Scale versehen, so kann man leicht abnehmen, wie groß ein Theil des Mikrometers erscheint und durch Division der scheinbaren Größe durch die wirkliche die lineare Vergrößerungszahl finden. (Jacquin in Zeitsch. 4. 1.)

Man kann mittelst eines Mikrometers auch den Durchmesser kleiner Gegenstände, die man durch das Mikroskop ganz sieht, bestimmen. Zu diesem Behufe legt man ein Mikrometer auf die Blendung unter

dem Ocularglase, wobei diese Blendung so stehen muß, daß das Mikrometer durch das Ocularglas betrachtet, vollkommen deutlich erscheint. Bringt man nun vorläufig vor das Objectiv ein Mikrometer, und kennt man den absoluten Werth des Abstandes zweier benachbarter Theilstriche auf demselben genau, so erfährt man durch Vergleichung beider Mikrometer, ein für alle Mal, wie groß ein vor dem Objectiv stehender Gegenstand ist, dessen Bild mit dem Mikroskop deutlich gesehen, auf dem Ocular-Mikrometer eine gewisse Anzahl Theilstriche einnimmt, so daß man durch bloße Anwendung des Ocular-Mikrometers mit Leichtigkeit die Dimensionen jedes beliebigen Objectes (sogar eines in Bewegung befindlichen Gegenstandes), mit einer von der Beschaffenheit der angewendeten Mikrometer abhängenden Genauigkeit messen kann. Ganz Vorzügliches leisten die von dem großen Künstler Fraunhofer und auch an Plößl's Instrumenten angebrachten Schraubenmikrometer, wodurch man jede kleine Verschiebung des Objecttisches des Mikroskopes, und wenn man so die beiden Enden des Bildes der zu messenden Dimension eines Gegenstandes mit einem feinen, über die Blendung des Oculars gespannten Faden nach einander in Contact bringt, den Durchmesser eines Gegenstandes bis $^1/_{100000}$ eines Zolles finden kann. (Brander's Beschreibung zweier zusammengesetzter Mikroskope. Augsburg, 1769. *Essay on the microscope by Adams. London.* 1787. Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 252 u. f. f. Sehr lehrreich ist ein Aufsatz über Mikroskope vom Freih. von Jacquin in Zeitsch. 5. 129.)

81. Unter den catoptrischen Mikroskopen ist das von Amici erfundene bei weitem das vorzüglichste. Es besteht im Wesentlichen aus zwei Metallspiegeln a und b (Fig. 213), die sich in einem horizontalen Rohre befinden, und aus einem Ocularglase. Der größere Spiegel ist hohl, elliptisch gekrümmt, hat einen gleichen Durchmesser mit dem Rohre, befindet sich am Ende desselben und ist so gestellt, daß seine Axe mit der des Rohres zusammenfällt. Der andere Spiegel ist eben, sehr klein, unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigt, so gestellt, daß seine Mitte in dieser Axe liegt, mit der spiegelnden Oberfläche nach unten gekehrt und einer Oeffnung im Rohre zugewendet, unter welcher sich der Objectträger c befindet. Zur Beleuchtung des Gegenstandes dienet ein Hohlspiegel. Das wohlbeleuchtete Object sendet die Strahlen durch die Oeffnung auf den Planspiegel, der sie auf den elliptischen Hohlspiegel zurückwirft, und dieser macht am entgegengesetzten Ende des Rohres ein Bild, das man mit einem Ocularglase ansehen kann. Dieses Instrument gewährt eine bedeutende Vergrößerung, stellt wegen Mangel der Farbenzerstreuung die Gegenstände scharf und in ihren wahren Farben dar, man kann damit Gegenstände von bedeutender Größe, selbst solche, die im Wasser schwimmen, beobachten, weil sie wenigstens $^1/_2$ Zoll vom Körper des Instrumentes entfernt bleiben, beim Beobachten länger aushalten, indem das Instrument horizontal steht, und die Vergrößerung schnell wechseln, ohne die Entfernung des Objectes vom Instrumente zu ändern; doch muß man alle die Vortheile durch Aufopferung der Lichtstärke erkaufen, besonders wenn man starke Vergrößerungen anbringen will. (*Memoria di Microscopi catadioptrici. Mod.* 1818. Zeitsch. 1. 301.)

Zu den Mikroskopen kann man auch das Sonnen-, das Gas- (Hydro-Oxygen-) und das Lampenmikroskop zählen. Der Zweck dieser Instrumente ist, die Bilder kleiner Gegenstände stark vergrößert auf eine weiße Tafel oder auf einen transparenten Schirm zu projiciren, und auf diese Weise mehreren Personen zugleich sichtbar zu machen. Sie kommen darin überein, daß bei jedem derselben der Gegenstand in umgekehrter Lage vor eine oder besser vor mehrere achromatisch und aplanatisch verbundene Linsen gestellt wird, etwas weiter als der Vereinigungspunkt paralleler Strahlen von denselben entfernt. Je mehr der Gegenstand letzterem Punkte genähert wird, desto größer fällt die Bildweite, mithin um so größer das Bild selbst aus. Aber die Lichtstärke des Bildes wird dabei im Verhältnisse des Quadrates jeder linearen Dimension desselben verringert; soll daher dieses Bild auf dem Schirme oder der Tafel, worauf man es auffängt, mit befriedigender Helligkeit erscheinen, so muß man für hinreichende Beleuchtung des Gegenstandes Sorge tragen. Durch die Art, auf welche diese erzielt wird, unterscheiden sich oben genannte drei Instrumente. Bei dem Sonnenmikroskope, Fig. 214, dient das Sonnenlicht zur Beleuchtung. Die auf einen beweglichen, gehörig gestellten ebenen Spiegel A fallenden Sonnenstrahlen werden nach ihrer Reflexion von einer großen Sammellinse B aufgenommen, und durch diese in ihrer Brennweite zu einem Sonnenbilde vereinigt. An den Ort desselben bringt man den Gegenstand, wenn er durchsichtig ist. Die durch ihn gehenden Strahlen fallen auf die mikroskopischen Linsen C, deren Axe mit jener des Beleuchtungsglases übereinstimmt. Gewöhnlich wendet man aber statt Einer Beleuchtungslinse, deren zwei an, Fig. 215, indem die von der größeren Linse B convergent gemachten Sonnenstrahlen durch eine zweite kleinere Linse D noch mehr convergent werden, wodurch zugleich die Größe des beleuchteten Raumes MN gesteigert wird. Undurchsichtige Gegenstände müssen auf der den mikroskopischen Linsen zugekehrten Seite beleuchtet werden, zu welchem Behufe man die durch die Beleuchtungslinsen vereinigten Strahlen mittelst eines Spiegels dem, sammt den mikroskopischen Linsen etwas höher gestellten Gegenstande zusendet. Bei dem Gasmikroskope wird, wie Cary zuerst gethan hat, das sehr intensive Licht, welches ein Stück frisch gebrannten Kalkes in der Flamme eines Gemisches aus Wasserstoffgas und Sauerstoffgas verbreitet, zur Beleuchtung des Objectes benützt. Da hier nicht wie bei dem Sonnenlichte parallele, sondern divergirende Strahlen auf die Beleuchtungslinse fallen, so ist bei der Anordnung des Beleuchtungsapparates darauf Rücksicht zu nehmen. Bei dem Lampenmikroskope behilft man sich zur Beleuchtung des Gegenstandes mit einer guten Oehllampe, muß sich aber auch mit einer geringeren Ausdehnung des Bildes begnügen, zu welchem Zwecke man die dasselbe hervorbringenden Strahlen, durch eine oder mehrere größere Linsen G, H (Fig. 216) auf einen engern Raum zusammendrängt, und das Bild mit einem transparenten Schirme auffängt. Fig. 216 zeigt die Anordnung der Beleuchtung eines undurchsichtigen Gegen-

standes. C ist eine sehr convexe Linse, welche von einer starken Lampe A Licht bekommt, und es in parallelen Strahlen auf den Hohlspiegel B sendet, der so geneigt ist, daß er es auf das Object E schickt, von welchem es zu den mikroskopischen Linsen F gelangt. Das Megaskop unterscheidet sich von den hier beschriebenen Mikroskopen bloß dadurch, daß es zur Darstellung von Bildern größerer Gegenstände bestimmt ist, daher statt der mikroskopischen Linsen eine Linse von größerer Brennweite enthält, die keine so starke Vergrößerung gewährt, vor welcher der gut beleuchtete Gegenstand in verkehrter Lage steht.

Fernröhre.

83. **Fernröhre (Teleskope)** braucht man, um entfernte Gegenstände vergrößert zu sehen. Sie werden, wie die Mikroskope in dioptrische und catoptrische eingetheilt, d. i. in solche, die bloß aus Linsen, und in solche, welche aus Linsen und Spiegeln bestehen. Große dioptrische pflegt man Refractoren, große catoptrische Reflectoren zu nennen. Ein dioptrisches Instrument von mittlerer Größe heißt ein Tubus. Da der Zweck der Fernröhre derselbe ist, wie jener der Mikroskope, so muß in ihrer Construction viel Uebereinstimmung herrschen; allein da Mikroskope zur Besichtigung naher Gegenstände gebraucht werden, die man nach Bedürfniß beleuchten kann, Objecte aber, welche der Gegenstand der Betrachtung durch Fernröhre sind, eine größere Entfernung von uns haben und in ihrer natürlichen Beleuchtung angesehen werden müssen; so wird im Baue der Fernröhre auch manches Eigenthümliche vorkommen. An jedem Fernrohre, es sey ein dioptrisches oder catoptrisches, muß man zwei Theile unterscheiden, nämlich das Objectiv und das Ocular. Bei den dioptrischen ist das Objectiv eine Converlinse, bei den catoptrischen ein Hohlspiegel.

84. Das **Objectiv** ist der wichtigste Theil eines Fernrohres, aber auch derjenige, welcher am schwersten in gehöriger Vollkommenheit zu verfertigen ist. Es soll einen bedeutenden Durchmesser haben, um von jedem Punkte des Objectes einen großen Lichtkegel aufnehmen und ein helles Bild geben zu können. Große und zugleich homogene Glasstücke, wie sie zu größeren Objectiven erfordert werden, sind aber, besonders bei Flintglas, das gar leicht wellig erscheint, schwer zu erhalten, und es gehört große Geschicklichkeit dazu, großen Linsen genau die Krümmung einer Kugel zu geben. Da das Bild auch deutlich seyn soll, so muß man die Linse sowohl von der chromatischen, als auch von der sphärischen Abweichung möglichst frei machen und darum sie durch eine Hohllinse von Flintglas achromatisiren und den einzelnen Flächen dieser Doppellinse die Krümmungen geben, welche nöthig sind, um die sphärische Abweichung auf ein Kleinstes zu bringen. Dieses wird bei großen Objectiven ohne Vergleich schwieriger seyn, als bei kleineren, weil man bei jenen manches in Rechnung bringen muß, das man bei diesen vernachläßigen kann, wie z. B. die Dicke der Gläser,

die Entfernung der zwei Bestandtheile der Doppellinse ꝛc. Man kann nicht darauf rechnen, die sphärische Abweichung durch Uebereinanderlegen zweier oder dreier achromatischen Linsen heben zu können, weil durch ihre Anwendung dem Bilde zu viel Licht entgeht. Darum hat auch Fraunhofer immer nur Doppelobjective gewählt, doch scheinen dreifache in mancher Beziehung besondere Vorzüge zu haben. Bei jenen ist das Crownglas auswärts gekehrt und doppelt, aber ungleich convex, das Flintglas eben nach innen und ist convex-concav. Objective mit von einander stark abstehenden Bestandlinsen (dialytische Linsen) gewähren viele Vorzüge, weil man mit einem Flintglase ausreicht, das nur halb so viel Oeffnung hat, als das Crownglas, weil die Länge des Instrumentes geringer ausfällt und doch noch eine größere Bildschärfe erzielt wird. Wenn man ein einfaches Objectiv brauchen will, so muß man alle Randstrahlen durch eine Blendung abhalten und doch noch auf eine starke Färbung des Bildes gefaßt seyn.

66. Nach Verschiedenheit des Oculars, das man mit einem Objective verbindet, dienet das hieraus hervorgehende Fernrohr zu verschiedenen Zwecken und erhält auch verschiedene Namen. Nimmt man als Ocular eine Hohllinse und gibt ihr eine solche Stellung gegen das Objectiv, daß die von einem hinreichend entfernten Gegenstande auffallenden und durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch das Concavglas so gebrochen werden, als kämen sie von einem Gegenstande, der sich in der deutlichen Sehweite befindet, so heißt das Instrument ein holländisches oder galiläisches. Ist A (Fig. 217) das Objectivglas eines solchen Fernrohres, das von einem entfernten Gegenstande Strahlen bekommt; so würde dieses ein Bild acb geben, wenn kein Ocularglas da wäre. Durch dieses Glas B werden aber, vorausgesetzt, daß die Entfernung desselben von ab etwas größer ist, als seine imaginäre Brennweite, die Strahlen so gebrochen, als kämen sie vom Bilde a′c′b′. Man wird daher den Gegenstand in natürlicher Lage, und wenn sich das Bild in der Sehweite des Auges befindet, auch deutlich sehen. — Um die Vergrößerung m dieses Instrumentes zu finden, muß man den Sehwinkel, unter welchem der Gegenstand mit dem Instrumente erscheint, mit dem vergleichen, unter welchem er ohne Instrument gesehen wird. Denkt man sich das Auge an dem Platze des Objectivglases, so ist der halbe Sehwinkel ohne Instrument bOc, und der mit dem Instrumente kann ohne Fehler für bO′c angenommen werden. Nun ist aber

$$tang\ bOc = \frac{bc}{Oc},\quad tang\ bO'c = \frac{bc}{O'c},\quad \frac{tang\ bO'c}{tang\ bOc} = \frac{Oc}{O'c},$$

mithin weil bOc und bO′c nur kleine Winkel sind

$$m = \frac{bO'c}{bOc} = \frac{Oc}{O'c}.$$

Wegen der sehr großen Entfernung des Gegenstandes vom Objectivglase kann Oc der Brennweite p dieser Linse gleich gesetzt werden. Nennt man nun die Brennweite des Ocularglases p′, und setzt man, weil O′c größer ist als diese, $O'c = p' + \delta$, so hat man

$$m = \frac{p}{p' + \delta}$$

Um die Größe von δ zu beurtheilen, bedenke man, daß die Axen der aus dem Oculare tretenden Strahlenkegel divergiren, mithin das Auge um an möglichst vielen dieser Strahlenbündel Antheil zu nehmen, dicht hinter dem Oculare stehen muß. Es wird also $O'c'$ der Sehweite gleich gesetzt werden dürfen, die wir mit h bezeichnen wollen. Schreiben wir nun, um die Formel (C) in 36 auf den vorliegenden Fall anzuwenden $-O'o$ statt a, $-h$ statt α, $-p'$ statt p, so ergibt sich die Gleichung

$$\frac{1}{O'o} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{h} = \frac{h - p'}{h p'}, \text{ d. h. } p' + \delta = \frac{h p'}{h - p'},$$

$$\text{also } \delta = \frac{p'^2}{h - p'}.$$

Ist nun, was in der Regel Statt findet, die Brennweite des Ocularglases gegen die Sehweite sehr klein, so kann δ als eine zu vernachläßigende Größe betrachtet werden, und es wird $m = \frac{p'}{p}$.

Die Vergrößerungszahl ist daher unter den genannten Voraussetzungen gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglases in die des Objectivglases. Streng genommen gilt aber diese Regel, wie aus dem Gesagten erhellet, nur für ein unendlich weitsichtiges Auge. Kleinere Werthe von h geben größere Werthe für δ; es müssen daher Kurzsichtige das Ocular dem Objective mehr nähern, als Weitsichtige. Wegen der Divergenz der Axen, der aus dem Oculare kommenden Strahlenbündel hat ein solches Fernrohr immer nur ein sehr kleines Gesichtsfeld. Deßhalb kann man es nur dann zu stärkerer (10—30maligen) Vergrößerung brauchen, wenn alles in hohem Grade vollkommen construirt worden, wie dieses bei Plößl's sogenannten Feldstechern der Fall ist, die im Verhältniß ihrer Größe Unglaubliches leisten. (Zeitsch. 8. 189). Es bleibt zwar selbst bei der Anwendung eines achromatischen Objectives, die durch das Ocularglas bewirkte Farbenzerstreuung übrig; allein diese bringt keine gar große Wirkung hervor, weil das Auge sehr nahe am Ocularglase steht, wo die Strahlen nicht sehr divergiren. Man hält es deßhalb nicht immer für nothwendig, durch Einführung eines Collectivglases dieser Zerstreuung so zu steuern, wie es beim Mikroskope geschah, um so mehr, da die minder (2—4mal) vergrößernden Instrumente dieser Art meistens nur als Theaterperspective, mithin Nachts gebraucht werden, wo das Licht minder lebhaft ist. Man kann ein Instrument mit mehreren Ocularen von verschiedener Stärke versehen und sie an eine Drehscheibe befestigen, damit man sie schnell wechseln und so hinter einander mehrere (3 oder 4) verschiedene Vergrößerungen anbringen könne, wie dieses ebenfalls an Plößl's Feldstechern der Fall ist.

86. Wird eine Converlinse zum Ocular gewählt, so erhält man das astronomische Fernrohr. Dieses besteht demnach aus einem converen Objectivglase A (Fig. 218) und aus einem converen Ocular-

glase B. Diese sind gestellt, daß das von einem entfernten Gegenstande auf A fallende Licht zu einem verkehrten Bilde a b vereinigt wird und von da aus so ins Ocularglas gelangt, daß für ein dahinter befindliches Auge ein Bild a' b' in der deutlichen Sehweite erscheint. Man sieht daher den Gegenstand verkehrt und bei gehöriger Wahl des Oculars auch vergrößert. Zur Bestimmung der Vergrößerung m kann man wieder annehmen, daß a o b der Sehwinkel des Gegenstandes für das freie, und a o' b für das bewaffnete Auge sey. Man hat daher, wie vorhin

$$\frac{\tan a o' c}{\tan a o c} = \frac{o c}{o' c} \text{ oder nahe } \frac{a o' b}{a o b} = \frac{o c}{o' c} = m.$$

Heißt man die Brennweite des Objectivglases, die man = o c setzen kann, p; jene des Ocularglases p', und setzt man, da $o' c < p'$ seyn muß, $o' c = p' - \delta$, so wird

$$m = \frac{p}{p' - \delta},$$

oder in so fern man δ vernachläßigen darf,

$$m = \frac{p}{p'},$$

d. i. die Vergrößerungszahl gleicht dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglases in die des Objectivglases. — Diese Instrumente werden gewöhnlich mit der größten Sorgfalt construirt, damit sie von den Himmelskörpern, zu deren Beobachtung man sie anwendet, ein stark vergrößertes und doch recht deutliches Bild geben. Darum muß man auch die Farbenzerstreuung des Oculars durch Einführung eines Collectivglases, wie bei den Mikroskopen aufheben, um so mehr, als dadurch zugleich auch das Gesichtsfeld vergrößert wird. Hinsichtlich desselben gilt hier alles was in Betreff des Oculares eines zusammengesetzten Mikroskopes gesagt wurde. Es stimmt auch die Einrichtung des Ocularapparates eines astronomischen Fernrohres mit jenen des Mikroskopes in der Regel überein; nur für besondere Zwecke bedient man sich der von Ramsden zuerst ausgeführten Einrichtung, bei der die vom Objectiv kommenden Strahlen erst, nachdem sie ein Bild geliefert haben, ins Collectivglas eintreten, mithin zwischen dieses und das Ocular kein Bild fällt. Es werden nämlich oft bei solchen Fernröhren an der Stelle des Diaphragma's, d. i. an den Platz des vom Objectiv herrührenden Bildes am Oculare feine Fadenkreuze oder Mikrometer eingesetzt, um damit Objecte messen zu können. Ramsdens Ocular gestattet die Vertauschung desselben mit einem anderen schärferen oder schwächeren, ohne Aenderung des Mikrometers, während bei der früheren Anordnung mit jedem Oculare ein besonderes Mikrometer verbunden seyn muß. Bei sehr starken Vergrößerungen ist man genöthigt auf das Collectiv gänzlich zu verzichten.

87. Um irdische Gegenstände stark vergrößert und doch aufrecht zu sehen, verbindet man mit dem Objective ein dreifaches oder gar ein vierfaches Ocular, und nennt das daraus hervorgehende Fernrohr ein Erdfernrohr. Ein solches stellt Fig. 219 dar. Das Objectivglas

A macht von einem hinreichend entfernten Gegenstande ein verkehrtes Bild a b; von diesem fallen die Strahlen auf das erste Ocularglas B, gelangen von diesem auf das zweite C und auf das dritte und vierte D und E so, daß entweder hinter dem zweiten C oder hinter dem dritten ein aufrechtes Bild des Gegenstandes entsteht, welches, durch die zwei oder durch die eine noch übrige Ocularlinse angesehen, in der deutlichen Sehweite erscheint. Es dienen daher die Linsen B und C zur Umkehrung des Bildes, die Linse D zur Achromatisirung des vom Oculare E gemachten Bildes. Die Vergrößerung eines solchen Instrumentes hängt von dem Verhältnisse der Brennweiten der einzelnen Linsen und von ihrer gegenseitigen Entfernung ab. Darum kann man mit demselben Instrumente, ohne das Ocular zu verwechseln, mehrere Vergrößerungen dadurch hervorbringen, daß man die Entfernung der Ocularlinsen von einander ändert. Damit aber dadurch die Deutlichkeit nicht leide, darf nur die Lage der drei inneren Oculare gegen einander, nicht aber die des äußersten gegen das Auge geändert werden, auch wird es für diese nur bestimmte Lagen geben, wo sie ihren Dienst nicht versagen. Derlei Oculareinrichtungen heißen Pancratische oder Kitschiner'sche. (Zeitsch. 4. 501.)

Das größte dioptrische Fernrohr, welches bis jetzt verfertigt wurde, ist der Fraunhofer'sche Refractor zu Dorpat. Sein Objectiv hat 9 P. Z. Oeffnung und 160 Z. Brennweite, und vergrößert mit dem schärfsten Oculare 600mal. Er ist zugleich mit einem Uhrwerke eigener Art in Verbindung, durch welches er in 24 Stunden in einem Kreise wie ein Fixstern herumgetrieben wird, so daß, wenn einmal ein Fixstern in das Gesichtsfeld gebracht ist, derselbe stets darin bleibt, ohne einer Beihilfe des Beobachters zu bedürfen.

88. Zur Zeit, als man noch an der Möglichkeit achromatischer Linsen zweifelte, wußte man kein anderes Mittel, durch Fernröhre reine und vom farbigen Rande möglichst freie Bilder entfernter Gegenstände zu bekommen, als durch Anwendung der Spiegel statt der Linsen. Auf diese Weise entstanden die catoptrischen Fernröhre, von denen vorzüglich vier Gattungen bekannt sind: nämlich das Herschel'sche, das Newton'sche, das Gregory'sche und das Cassegrain'sche.

89. Ein Fernrohr nach Herschel's Art besteht aus einem Hohlspiegel AB (Fig. 220), der etwas gegen die Axe der Röhre, in welcher er sich befindet, geneigt ist und von weit entfernten Gegenständen ein verkehrtes Bild a b in der Nähe des unteren Randes der Röhre macht, das man durch eine Ocularlinse C ansehen kann. Solche Instrumente müssen sehr große Spiegel haben, damit die Anzahl der Strahlen, welche durch den Kopf des Beobachters vom Spiegel abgehalten werden, gegen die ganze Lichtmenge, welche den Spiegel trifft, unbedeutend sey.

Das große Instrument, womit Herschel einen bedeutenden Theil seiner so wichtigen Entdeckungen machte, hat einen Hohlspiegel von 4 Fuß Durchmesser und einer Brennweite von 40 Fuß; er wiegt 25 Centner. Dieses Instrument vergrößert 7000mal und bringt 3650omal

mehr Licht ins Auge, als von demselben Objecte frei dahin gelangen würde.

90. Im Newton'schen Fernrohre werden die von einem entfernten Gegenstande auf den großen Hohlspiegel AB (Fig. 221) fallenden und von da zurückgeworfenen Strahlen, von einem kleineren, gegen die Are des ersteren unter 45° geneigten Planspiegel CD, nach einer seitwärts angebrachten Converlinse E reflectirt, so daß das verkehrte Bild des Gegenstandes durch E angesehen werden kann. Es hat aber die Unbequemlichkeit, daß es die Gegenstände verkehrt zeigt und daß man zum Aufsuchen derselben viele Mühe braucht. Indeß wird letzteres durch ein kleines dioptrisches Fernrohr (Sucher), das mit der Are des Rohres parallel läuft, bedeutend erleichtert.

91. Das Gregory'sche Fernrohr (Fig. 222) vereiniget durch einen Hohlspiegel AB die von einem entlegenen Gegenstande kommenden Strahlen zu einem verkehrten Bilde ab. Von diesem gelangen die Strahlen auf einen zweiten kleinen Hohlspiegel CD, werden da gegen den großen Spiegel reflectirt, in dessen Mitte sich ein Loch befindet, und zu einem aufrechten Bilde cd vereiniget, welches durch die im Loche des Spiegels befindliche Converlinse E angesehen werden kann. Dieses Instrument zeigt zwar aufrecht und vergrößert, aber die Bilder leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt beider Spiegel sehr an Deutlichkeit.

92. Um die große Abweichung wegen der Kugelgestalt, die im vorigen Instrumente Statt findet, zu vermindern, hat Cassegrain statt des kleineren Concavspiegels einen kleinen Converspiegel angebracht. Da sind aber die Spiegel so gestellt, daß die Strahlen vom concaven eher auf den converen fallen, als sie zu einem Bilde vereiniget werden.

93. Das Ocular eines Fernrohres muß mit seinem Objective, es mag dieses nun eine Linse oder ein Spiegel seyn, so verbunden werden, daß ihre Aren in einer geraden Linie liegen. Beide werden in Röhren eingesetzt. Das Ocular bekommt gewöhnlich eine eigene Röhre, damit es die für jedes Auge und für jede Entfernung des zu betrachtenden Gegenstandes angemessene Entfernung vom Objective annehmen kann. Kleinere Instrumente, deren Länge nicht viel über zwei Fuß beträgt, bekommen Zugröhren, damit sie sich zusammenschieben und bequem tragen lassen. Größere kann man nicht mit Zugröhren versehen, weil diese fast nie völlig gerade sind; selbst wenige Zolle lange Zugröhren passen nur in einer gewissen Lage am besten zusammen, die darum oft mittelst Sternchen bezeichnet ist. Das Innere der Röhren wird zur Abhaltung alles Seitenlichtes geschwärzt und an den Stellen, wohin die wirklichen Bilder fallen, mit Diaphragmen versehen. Bekommt ein solches Instrument ein Fadenkreuz, so muß dieses an der Stelle eines Bildes angebracht werden. Catoptrische Instrumente werden fast immer mit Metallfassungen versehen und lassen sich nicht wohl als Taschenfernröhre brauchen. Bei diesen sowohl als bei dioptrischen Instrumenten muß das Ocular in Betreff der

Oeffnung und Brennweite zum Objective passen. Gewöhnlich ist sie eine Planconvexlinse, nur bei dialytischen Fernröhren ist sie aus guten Gründen biconvex.

94. Ein Fernrohr ist desto vollkommener, je mehr es vergrößert, je deutlicher und heller seine Bilder sind und je größer sein Gesichtsfeld ist. Jede einzelne dieser guten Eigenschaften läßt sich aber nur auf Kosten der übrigen erhöhen. Will man z. B. die Vergrößerung steigern, so muß man bei demselben Objective ein Ocular mit kürzerer Brennweite nehmen; dieses muß aber eine kleinere Oeffnung erhalten, wenn das Bild deutlich bleiben soll, und wird darum ein kleineres Gesichtsfeld gewähren. Daß das Bild an Helligkeit verlieren müsse, ist für sich klar, auch ist es leicht einzusehen, daß diese bei derselben Vergrößerung mit der Oeffnung des Objectives wachsen muß. Darum verträgt jedes Fernrohr mit einem bestimmten Objective nur eine gewisse Vergrößerung.

Die vorzüglichsten Fernröhre sind ohne Zweifel bis jetzt von Fraunhofer und Plößl verfertigt worden. Folgendes Verzeichniß enthält die Vergrößerungen, welche sie bei den nebenstehenden Objectivöffnungen in Linien ausgedrückt gewähren. F bedeutet ein Fraunhofer'sches, P ein Plößl'sches Instrument.

Objectivöffnung.	Vergrößerung.
21 F.	astron. 40, 60, terrest. 28
24 P.	» 45, 75, » 34
27 F.	» 60, 90, » 40
28 P.	» 48, 70, 100, terrest. 42
29 F.	» 60, 90, terrest. 42
32 P.	» 55, 85, 127, terrest. 48
34 P.	» 54, 84, 126, terrest. 60, 70
36 P.	» 50, 80, 110, 140, terrest. 48, 70
37 F.	astron. 64, 96, 144, 216 terrest. 57, 80.
40 P.	astron. 55, 85, 125, 160 terrest. 50, 80.
43 F.	astron. 54, 80, 120, 180, 270 terrest. 66.
44 P.	astron. 50, 80, 110, 180, 242 terrest. 55, 90.
48 F.	astron. 54, 80, 120, 180, 270 terrest. 66.
48 P.	astron. 60, 90, 130, 180, 270 terrest. 60, 100.
52 F.	astron. 64, 96, 144, 216, 324 terrest. 82, 120.
78 F.	astron. 62, 93, 140, 210, 320, 470.

95. Zur Prüfung eines Fernrohres auf Deutlichkeit und Klarheit taugen vorzüglich Objecte, die leuchtend auf dunklem

Grunde erscheinen, mithin vorzüglich Himmelskörper zur Nachtzeit, wohl auch weiße Punkte oder Scheibchen auf schwarzem Grunde bei hinreichender Tageshelle. Ihr Bild muß rein und scharf begrenzt erscheinen, es mag in der Mitte des Gesichtsfeldes oder am Rande desselben sich befinden. Uebrigens soll ein gutes Fernrohr so beschaffen seyn, daß man durch jeden Punkt des Objectives das Ocular sieht, ersteres soll frei von Wellen seyn, wenigstens nicht viele Blasen haben und keine Farbenringe zeigen. Die Größe des Gesichtsfeldes wird erkannt, wenn man den Gesichtswinkel des Gegenstandes bestimmt, den man auf einmal übersieht. Um die Vergrößerungszahl zu finden, sieht man auf einen in gleiche Theile getheilten Gegenstand durch das Fernrohr und zugleich mit freiem Auge, und schätzt, wie viele der mit freiem Auge gesehenen Theile auf einen Theil, wie er durch das Fernrohr erscheint, fallen. Man wendet da mit Vortheil ein ähnliches Verfahren an, wie bei Mikroskopen (80), indem man die Größe des Bildes einer in bestimmter Entfernung mit freiem Auge gesehenen Linie mit dem derselben Linie, durch das Fernrohr in gleicher Entfernung gesehen, vergleicht. (Jacquin in Zeitsch. 2. 101.) Endlich schließt man nicht selten aus der Größe der Lichtscheibe, welche am Oculare bei voller Beleuchtung des Objectivs oder eines durch einen Schirm bestimmten Theiles desselben erscheint, indem man letzteren durch erstere theilt. Zum Messen dieser Größe hat man eigene Instrumente. (Ramsden's Dynamometer oder Auxometer.)

Die Theorie des Dynamometers beruht auf einer allgemeinen Eigenschaft jeder Zusammenstellung von Linsengläsern zu einem Fernrohre, die wir hier aus einander setzen wollen, wobei wir jedoch den Fall zum Grunde legen, daß sämmtliche Linsen Sammellinsen seyen und die Strahlen bei jeder derselben divergirend ein- und convergirend austreten, da jeder andere Fall bloß eine Aenderung des Zeichens der Brennweite, der Entfernung des Gegenstandes, oder des Abstandes des Bildes von der Linse mit sich führt. Es seyen Fig. 223, A, A', A'', A''' die Mittelpunkte der Linsen, HK das Bild welches ein sehr entfernter Gegenstand mittelst der ersten Linse A in ihrer Brennweite gibt; $H'K'$ das Bild dieses Bildes mittelst der zweiten Linse A', $H''K''$ das Bild von $H'K'$ mittelst der Linse A'', welches mittelst der Linse A''', in deren Brennweite es sich befinde, von einem weitsichtigen Auge betrachtet werde. Bezeichnen wir die Winkel, welche die den Bildern K, K', K'' eines außerhalb der Axe AA''' befindlichen Punktes des Gegenstandes entsprechenden Hauptstrahlen AK, KK', $K'K''$, $K''A'''$ mit der Axe machen, der Reihe nach durch φ, φ', φ'', φ''' und die Vergrößerungszahl durch m, so ist $m = \frac{\varphi'''}{\varphi}$. Es sey

$$AH = a,\ A'H' = a',\ A''H'' = a'' \text{ und}$$
$$HA' = \mathfrak{a}',\ H'A'' = \mathfrak{a}'',\ H''A''' = \mathfrak{a}'''$$

so ist wegen der Kleinheit der Winkel φ, φ', φ'', φ''' (vergl. 86)

$$\frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{a}{\mathfrak{a}'},\ \frac{\varphi''}{\varphi'} = \frac{a'}{\mathfrak{a}''},\ \frac{\varphi'''}{\varphi''} = \frac{a''}{\mathfrak{a}'''}.$$

Das Product dieser Ausdrücke gibt

$$m = \frac{a\,a'\,a''}{\mathfrak{a}'\,\mathfrak{a}''\,\mathfrak{a}'''}.$$

Nun sey MN (Fig. 124) ein in geringer Entfernung von der Linse A aufgestellter Gegenstand, M'N', M''N'', M'''N''', $M^{IV}N^{IV}$ die Reihe der denselben in Bezug auf die Linsen A, A', A'', A''' entsprechenden Bilder, und

$$MA = b,\ M'A' = b',\ M''A'' = b'',\ M'''A''' = b'''$$
$$AM' = \beta,\ A'M'' = \beta',\ A''M''' = \beta'',\ A'''M^{IV} = \beta''';$$

setzen wir ferner den Quotienten $\frac{MN}{M^{IV}N^{IV}} = \mu$, so ist wegen

$$\frac{MN}{M'N'} = \frac{b}{\beta},\ \frac{M'N'}{M''N''} = \frac{b'}{\beta'},\ \frac{M''N''}{M'''N'''} = \frac{b''}{\beta''},\ \frac{M'''N'''}{M^{IV}N^{IV}} = \frac{b'''}{\beta'''}$$

wenn man das Product dieser Ausdrücke bildet,

$$\mu = \frac{b\,b'\,b''\,b'''}{\beta\,\beta'\,\beta''\,\beta'''}.$$

Nun läßt sich leicht zeigen, daß, wenn die Stellung der Linsen im zweiten Falle genau dieselbe ist, wie im ersten, die numerischen Werthe der Zahlen m und μ einander gleich sind. Es ist nämlich offenbar

$$\frac{m}{\mu} = \frac{\alpha\beta\,.\,\alpha'\beta'\,.\,\alpha''\beta''\,.\,\beta'''}{b\,.\,a'b'\,.\,a''b''\,.\,a'''b'''}.$$

Nennen wir die Brennweiten der Linsen A, A', A'', A''' der Reihe nach p, p', p'', p''', so bestehen folgende Gleichungen:

$\alpha = p$	$\frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{p}$
$\frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'} = \frac{1}{p'}$	$\frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{p'}$
$\frac{1}{a''} + \frac{1}{\alpha''} = \frac{1}{p''}$	$\frac{1}{b''} + \frac{1}{\beta''} = \frac{1}{p''}$
$a''' = p'''$	$\frac{1}{b'''} + \frac{1}{\beta'''} = \frac{1}{p'''}$

Es ist demnach

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\alpha} \text{ folglich } \frac{1}{b} = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} = \frac{\beta - \alpha}{\alpha\beta} \text{ und } \frac{\alpha\beta}{b} = \beta - \alpha;$$

ferner ist $\frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'}$, folglich

$$\frac{1}{b'} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{\alpha'} - \frac{1}{\beta'};\ \frac{a' - b'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{\alpha'\beta'}$$

daher $\frac{\alpha'\beta'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{a' - b'}$. Eben so findet man

$$\frac{\alpha''\beta''}{a''b''} = \frac{\beta'' - \alpha''}{a'' - b''} \text{ und } \frac{\beta'''}{a'''b'''} = \frac{1}{b''' - a'''}.$$

Hieraus folgt $\frac{m}{\mu} = -\frac{(\beta - \alpha)\ (\beta' - \alpha')\ (\beta'' - \alpha'')}{(a' - b')\ (a'' - b'')\ (a''' - b''')}$.

Aber wegen der gleichen Abstände der gleichnamigen Linsen in beiden Fällen ist

$$\alpha + a' = \beta + b',\ \alpha' + a'' = \beta' + b'',\ \alpha'' + a''' = \beta'' + b'''$$

mithin

$$a' - b' = \beta - \alpha,\ a'' - b'' = \beta' - \alpha',\ a''' - b''' = \beta'' - \alpha''$$

daher $\frac{m}{\mu} = -1$ oder $m = -\mu$.

Der Gegensatz der Zeichen kommt bloß von der entgegengesetzten Lage der Bilder in beiden Fällen her. Die Gleichheit der Zahlwerthe von

m und μ besteht auch dann noch, wenn man b unendlich klein annimmt, d. h. wenn das Object MN mit der Linse A zusammenfällt, oder diese Linse oder ein bestimmter Theil derselben selbst ist, wie es der Gebrauch des Auzometers mit sich bringt. So wie hier der Beweis der Gleichheit der Werthe von m und μ für vier Linsen gegeben wurde, läßt er sich für jede andere Anzahl von Linsen führen.

96. Die dioptrischen Instrumente haben schon wegen ihrer bequemeren Einrichtung und ihrer größeren Dauer vor den catoptrischen einen großen Vorzug; sollen sie aber in sehr großem Maßstabe verfertigt werden, so findet man ein bis jetzt unübersteigliches Hinderniß an der Schwierigkeit, große homogene Glasstücke zu erhalten, während große Hohlspiegel ohne Vergleich leichter zu haben sind. Amici und Herschel d. j. haben eine Vergleichung zwischen einem guten catoptrischen und einem dioptrischen Instrumente angestellt. Nach Amici leistet ein achromatisches Fernrohr mit der Oeffnung 1 dasselbe, was ein catoptrisches mit der Oeffnung $1^1/_3$ leistet. Nach Herschel ist dieses Verhältniß 5:6, wenn das catoptrische nur einen Spiegel hat, hingegen 7:10, wenn es mit zwei Spiegeln versehen ist.

Einige minder wichtige, optische Instrumente.

97. Außer den Mikroskopen und den Fernröhren sind noch der optische Kasten, die dunkle Kammer (camera obscura), die helle Kammer (camera clara), die lichte Kammer (camera lucida) und die Zauberlaterne einer besonderen Betrachtung werth.

98. Eine Vorrichtung, wodurch große, perspectivische Zeichnungen mittelst eines Convexglases von 1—2 Fuß Brennweite angesehen werden, wenn sie ein wenig innerhalb der Brennweite stehen, heißt ein optischer Kasten und wird zu den optischen Instrumenten gezählt.

99. Die dunkle Kammer (camera obscura) besteht meistens aus einem Kasten, in welchem das von einer Convexlinse (am besten von einem Concavconvexglase) gemachte Bild entfernter Gegenstände, nachdem man ihm durch einen Spiegel eine bequeme Lage gegeben hat, auf einer weißen Fläche angesehen werden kann. Fig. 225 stellt ein solches Instrument vor, wo A die Linse, B der Spiegel ist, der dem Bilde, welches auf der Platte C erscheint, die gehörige Lage gibt. Fig. 226 stellt ein anders eingerichtetes Instrument dieser Art vor. Man benützt es vorzüglich zum Copiren entfernter Gegenstände. Ist die Linse bei der dunklen Kammer an der Vorderseite eines Kastens befestiget und dieser gegenüber ein Spiegel unter 45° gegen die Axe des Glases geneigt, so daß die von der Linse gemachten Bilder in die Nähe des Deckels reflectirt werden, wo man sie mit einer zweiten Convexlinse ansieht; so heißt die Vorrichtung eine helle Kammer (camera clara).

Chevalier ersetzt Linse und Spiegel einer gewöhnlichen dunklen Kammer durch ein Glas, wovon Fig. 227 einen Durchschnitt angibt, und

welches an der Fläche A B eben, an der Fläche A C convex, an B C hingegen concav ist. Fallen nun von einem fernen Gegenstande Strahlen auf A C, so werden sie wie in einer Linse gebrochen, und in A B so reflectirt, daß sie durch C B herkommen, und in D ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben.

100. Zu demselben Zwecke dient auch die sogenannte camera lucida. Sie besteht aus einem Glasprisma A B D C (Fig. 228), welches man mit den gehörigen Winkeln dadurch erhält, daß man mit dem Halbmesser A B den Quadranten A D beschreibt, ihn in C in zwei gleiche Theile theilt und die Sehnen A C und C D zieht. Das Viereck A B D C gibt dann den senkrechten Durchschnitt des gläsernen Prisma's, das hinreichend groß ist, wenn die Höhe B A = $1/2$ Zoll und die Länge 1 Zoll beträgt. Die beim Gebrauche wagrechte Fläche A B wird mit einer geschwärzten Platte bedeckt, die einen ganz kleinen Ausschnitt hat, um das Licht durchzulassen; das Ganze ist mit einem Postamente versehen, wie Fig. 229 zeigt. Ist S ein leuchtender Gegenstand, der Licht auf C D sendet, so wird davon ein Theil nach A C und von da nach G reflectirt, so daß er in das in G befindliche Auge kommt. Man sieht daher S in s. Befindet sich nun in s ein weißes Papier, so kann wegen der Kleinheit des Instrumentes auch von diesem Licht ins Auge kommen, und man wird zugleich den Gegenstand S und das Papier und zwar jenen auf diesem so sehen, daß man ihn nachzeichnen kann. Dieses artige Instrument erfand Wollaston. Ein sehr kleiner Planspiegel leistet dieselben Dienste, wie die camera lucida.

Amici hat diesem Instrumente folgende sehr zweckmäßige Einrichtung gegeben: a b (Fig. 230) ist ein etwa drei Linien dickes Planglas mit parallelen Wänden, c d ein metallener Planspiegel, der gegen a b um 135° geneigt ist. Sendet nun ein leuchtender Punkt S Strahlen auf c d, so werden sie in A reflectirt, gelangen auf B, wo sie eine zweite Reflexion erleiden und ins Auge C kommen. Eben dahin gelangen auch Strahlen vom Punkte D, wo man S sieht, und man kann daher daselbst leicht das Bild von S nachzeichnen.

101. Mehr zur Spielerei als zum wahren Nutzen dient die Zauberlaterne (Fig. 231). Sie besteht aus zwei Sammelgläsern A und B. Vor dem ersten aber, innerhalb seiner Brennweite, steht ein transparentes auf Glas gemaltes Bild C, welches von einer starken Flamme a, mittelst eines Beleuchtungsspiegels D erhellet wird. Das zweite Glas steht so, daß es ein großes Bild E F des Gegenstandes macht, welches man auf einer Wand auffangen kann. Ist diese Wand durchscheinend, so kann man hinter ihr die Bilder der Gegenstände vergrößert sehen und auf diese Weise sehr imposante, phantasmagorische Phänomene hervorbringen.

Ueber optische Instrumente insbesondere siehe: Klügel's Dioptrik. Leipzig. 1778. S. 158—251. Practische Dioptrik, von J. J. Prechtl. Wien, 1828. Littrow's mathematische Abhandlungen über Objective und Oculare zu Fernröhren, in Zeitsch. 3. 129. 285; 4. 17, 195. Littrow's Dioptrik. Wien, 1830. *Teorica degli stromenti ottici di J. Santini.* 2 *Tom. Padova*, 1828. Ueber diesen

Abschnitt überhaupt siehe: *Newtoni optica. Lond.* 1719. 4. Smith vollständiger Lehrbegriff der Optik. Leipzig, 1755. 4. *R. Boscovich opera pertinentia ad opticam et astronomiam. Bassano*, 1785. *Nuovo trattato d'ottica di L. Nobili. Milano*, 1820. 8. *An elementary treatise on Optics by Coddington. Cambridge*, 1823. 8. *Herschel on light London*, 1830. *Optics by Dr. Brewster. London*, 1831. Schmidt's Optik, herausgegeben von Goldschmidt. Göttingen, 1834. Pristley's Geschichte der Optik. Leipzig, 1776. 4.

Neuntes Kapitel.

Doppelte Brechung und Polarisation des Lichtes.

102. Im siebzehnten Jahrhunderte entdeckte Bartholin in Kopenhagen an einem Krystall von kohlensaurem Kalk oder Kalkspath, der wegen seines häufigen Vorkommens in Island isländischer Krystall genannt wird, die merkwürdige Eigenschaft, Gegenstände, welche durch ihn angesehen werden, doppelt zu zeigen. Man heißt ihn daher und wegen seines blättrigen Gefüges, isländischen Doppelspath. Bartholin überzeugte sich bald, daß diese Erscheinung durch eine eigenthümliche Einwirkung des Krystalls auf das Licht hervorgebracht werde, und suchte die Gesetze derselben näher zu bestimmen. Es war aber erst Huyghens vorbehalten, diese Gesetze so genau darzustellen, daß selbst Wollaston, Malus, Biot und Fresnel mit allen Hilfsmitteln, die ihnen ihr Genius und die Fortschritte der Wissenschaft darboten, nur Kleinigkeiten daran zu berichtigen vermochten. — Der Doppelspath erscheint gewöhnlich als eine von sechs rhomboidalen Flächen begrenzte Theilgestalt. Da sein Blätterdurchgang mit seinen Flächen parallel ist, so läßt sich durch zweckmäßiges Spalten ein Rhomboeder (Fig. 232) daraus gewinnen, welches demnach seine Kerngestalt ist. An dieser Gestalt kommen zwei einander entgegengesetzte Ecken A und B vor, deren jede von drei gleichen, stumpfen Winkeln gebildet wird, deren Ebenen gegen einander gleich geneigt sind; an jeder der sechs übrigen Ecken finden sich ein stumpfer und zwei einander gleiche spitzige ebene Winkel, und bloß zwei der drei Kantenwinkel sind gleich. Wir wollen erstere Ecken die stumpfen, die anderen die spitzigen nennen. Die Linie AB, welche mit den drei Kanten der stumpfen Ecke gleiche Winkel macht, ist die Axe des Körperwinkels A. Sie fällt mit der durch die stumpfen Ecken des Rhomboeders gehenden Diagonale, welche die krystallographische Hauptaxe dieser Gestalt ist, zusammen. Die Axen aller rhomboedrischen Theilungsgestalten, welche man sich in einem Doppelspathstücke denken mag, sind einander parallel; jede derselben stellt sich auch in optischer Hinsicht als eine Hauptlinie dar, und wird Axe der doppelten Brechung genannt. Demnach entspricht jedem Punkte eines Doppelspathstückes eine solche Axe. Eine Ebene, welche der gemeinschaftlichen Richtung der Axen parallel ist und auf einer (natürlichen oder künst-

lichen) ein Doppelspathstück begrenzenden Fläche normal steht, heißt ein Hauptschnitt. Dieser Begriff findet auch bei andern durchsichtigen Körpern Anwendung, denen eine Axe der doppelten Brechung zukommt.

103. Wenn man ein Papier mit einer kleinen Oeffnung versieht, und es auf eine Fläche des Doppelspathes legt, dann durch die Oeffnung einen Lichtstrahl leitet; so bemerkt man, daß derselbe im Krystalle in zwei Bündel getheilt werde, d. h. die doppelte Brechung erleide. Noch besser sieht man dieses mit einem dreiseitigen Prisma aus Doppelspath, das zugleich ein zweifaches Farbenbild gibt. Eine genaue Betrachtung des Ganges der beiden Strahlen, welche aus einem nach verschiedenen Richtungen auf den Doppelspath fallenden Lichtstrahle entspringen, lehrt, daß einer derselben sich nach den gewöhnlichen Brechungsgesetzen richte, und zwar der Sinus seines Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels sich verhalte wie 1.6543 zu 1, oder wie 1 zu 0.6045, während der zweite andere Brechungsgesetze befolgt. Deßhalb heißt ersterer der gewöhnlich gebrochene oder ordentliche, letzterer der ungewöhnlich gebrochene oder außerordentliche Strahl.

Um die Gesetze der doppelten Brechung in diesem Körper zu untersuchen, empfiehlt Malus ein rechtwinkeliges, auf Papier oder Elfenbein verzeichnetes Dreieck ABC (Fig. 233), dessen Seite BC viel kleiner ist als AC. Sieht man dieses durch einen Doppelspath an, so erscheint es doppelt, und es wird das ungewöhnliche Bild A′C′ der Seite AC, die Hypotenuse AB in D′ schneiden. Nimmt man nun AD = A′D′, so ist klar, daß ein Strahl von D und einer von D′ beim Ausfahren aus dem Krystalle in die Luft sich zu einem einzigen Strahle vereinigen; deßhalb müßte aber auch ein Strahl, der vom Auge auf den Krystall fiele, in zwei Bündel zerlegt werden, wovon eines nach D′, das andere nach D ginge. Da nun die Lage von D gegen D′, die Dicke des Krystalls und die Lage von AC gegen den Hauptschnitt gegeben ist; so braucht man nur noch den Einfallspunkt I des Strahles und seine Neigung gegen MN zu wissen, um den Erfolg der Brechung genau angeben zu können.

104. Durch zweckmäßig eingeleitete Beobachtungen überzeugt man sich, daß die ungewöhnliche Brechung des Lichtes im Doppelspathe nach folgenden Gesetzen vor sich gehe: 1) Fällt ein Lichtstrahl senkrecht auf eine Theilungsfläche des Doppelspathes, wobei der gewöhnlich gebrochene Theil desselben in unveränderter Richtung fortgeht, so wird der ungewöhnlich gebrochene um den Winkel von 6° 12′ 38″ gegen den spitzen Winkel des Rhomboeders abgelenkt, doch so, daß er in dem durch den Einfallspunkt geführten Hauptschnitte liegt. 2) Fällt ein Strahl schief ein, jedoch so, daß seine Einfallsebene die Lage eines Hauptschnittes hat, so bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl in dieser Ebene, allein der Sinus des Einfallswinkels steht nicht zum Sinus des Brechungswinkels in einem constanten Verhältnisse, sondern dieses ändert sich mit dem Einfallswinkel; ist die Einfallsebene gegen den Hauptschnitt geneigt, so tritt der ungewöhnliche Strahl überdieß noch aus der Einfallsebene heraus, und wird gleichsam vom

Hauptschnitte weggetrieben, und zwar desto mehr, je mehr sich der Winkel, den die Einfallsebene des Strahles mit dem Hauptschnitte macht, einem rechten nähert. Ist dieser Winkel ein rechter, so bekommt diese Ablenkung vom Hauptschnitte ihren größten Werth; dasselbe zeigt sich auch im Allgemeinen, wenn die Fläche des Doppelspathes, welche das einfallende Licht trifft, keine natürliche Theilungsfläche, sondern eine durch Anschleifen des Krystalles erzeugte ist. 3) Schleift man vom Krystalle solche Stücke weg, daß auf der Axe des Krystalls senkrechte Ebenen entstehen, so wird ein Strahl, der senkrecht darauf fällt, weder in zwei Bündel gespalten, noch überhaupt gebrochen. Schief einfallende Strahlen erleiden eine doppelte Brechung; da aber hier jede Einfallsebene eine Hauptschnittsebene ist, so bleibt der ungewöhnlich gebrochene Strahl stets in derselben. 4) Ist die künstlich erzeugte Fläche des Doppelspathes, auf die der Strahl fällt, der Axe des Krystalls parallel, und macht die Einfallsebene mit der Axe einen rechten Winkel, so gehorcht auch der sonst ungewöhnlich gebrochene Strahl den gewöhnlichen Brechungsgesetzen; er bleibt nicht nur in der Einfallsebene, sondern es verhält sich auch der Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels stets wie 1.4833 zu 1 oder wie 1 zu 0.6742. Dieses Verhältniß meint man, wenn von dem Brechungsverhältnisse des ungewöhnlichen Strahles im Doppelspathe die Rede ist.

105. Ist für ein Doppelspathstück die Lage der Axe gegeben, so läßt sich der aus irgend einem einfallenden Strahle entspringende gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochene Strahl mittelst einer einfachen von Huyghens entdeckten geometrischen Construction finden. Ehe wir dieselbe in ihrer Allgemeinheit vortragen, wollen wir sie zuerst an besonderen Fällen zeigen, und zwar mit der Verzeichnung des gewöhnlich gebrochenen Strahles beginnen. Es sey A (Fig. 234) der Punkt, in welchem der einfallende Strahl die Fläche des Doppelspathes trifft, und BAC die Durchschnittslinie der letzteren mit der Einfallsebene. Man beschreibe in dieser Ebene aus A als Mittelpunkt mit Halbmessern AF, AG, die sich zu einander verhalten wie 1 zu 0.6045, im Innern der brechenden Substanz Halbkreise. Ist nun SA die Richtung des einfallenden Strahles, so verlängere man sie, bis sie den größeren Halbkreis in H schneidet, ziehe zu diesem Punkte die Tangente HK, welche der BC in K begegne, und von letzterem Punkte zu dem andern Halbkreise die Tangente KL. Die von A durch den Berührungspunkt L gezogene Gerade ALO gibt die Richtung des dem Strahle SA entsprechenden gewöhnlich gebrochenen Strahles an. Daß dieselbe wirklich mit dem gewöhnlichen Brechungsgesetze im Einklange steht, erhellet auf folgende Weise: Es sey PAQ das Einfallsloth, so ist wegen der rechten Winkel bei H und L der Einfallswinkel $SAP = AKH$ und der Brechungswinkel $QAO = AKL$. Die Dreiecke AKH, AKL geben

$\sin AKH : 1 = AH : AK$; $\sin AKL : 1 = AL : AK$, mithin

$\sin AKH : \sin AKL = AH : AL$ oder

$\sin SAP : \sin QAO = AF : AG = 1 : 0.6045.$

Es hat also hier wirklich der Sinus des Brechungswinkels zu jenem des Einfallswinkels das gehörige Verhältniß. Umgekehrt erhält man zu jeder Richtung AO des gebrochenen Strahles die des einfallenden, wenn man zu dem Durchschnittspunkte L der AO mit dem kleinen Halbkreise die Tangente LK zieht, die den Punkt K in der BC anzeigt, von welchem die Tangente KH zum größeren Halbkreise auszugehen hat, deren Berührungspunkt H die Richtung des einfallenden Strahles SAH bestimmt. Es ist für sich klar, daß diese Construction in allen Fällen Anwendung findet, wo es sich um gewöhnliche Brechung des Lichtes handelt, und man hat bloß darauf zu sehen, daß der Quotient AF : AG dem Brechungsexponenten gleich gemacht werde. Ist dieser kleiner als 1, also AF < AG, so wird, sobald der Punkt K, in welchem die dem einfallenden Strahle zugehörende Tangente HK die BC schneidet, zwischen F und G fällt, die Brechung unmöglich, und es stellt sich die totale Reflexion ein.

106. Die Verzeichnung des ungewöhnlich gebrochenen Strahles beruht auf einer Verallgemeinerung der so eben vorgetragenen Construction. Wir wollen zuerst annehmen, daß die Einfallsebene des Strahles SA (Fig. 235) zugleich eine Hauptschnittsebene des Doppelspathes sey, d. i. die Axe desselben in sich enthalte, welche die Lage Az habe. Man beschreibe in dieser Ebene aus A als Mittelpunkt mit einem beliebigen Halbmesser AF, wie vorhin einen Halbkreis, zugleich construire man eine Ellipse, deren Mittelpunkt A ist, deren eine Hauptaxe in die Az, mithin deren andere Hauptaxe in die auf Az senkrechte Ax fällt, und nehme die Dimensionen derselben so an, daß wenn AU, AV die Hälften dieser Axen sind, die Proportion

$$AU : AV : AF = 0.6045 : 0.6742 : 1$$

Statt findet. Ist nun SA die Richtung eines einfallenden Lichtstrahles, so verlängere man dieselbe wieder, bis sie den Halbkreis in H schneidet; ziehe zu H die Tangente HK, und von dem Durchschnittspunkte K der letzteren mit der BC zur Ellipse die Tangente KM. Die Gerade AME, welche durch A und den Berührungspunkt M dieser Tangente geht, ist die Richtung des zum einfallenden Strahle SA gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahles. Man erhält sogleich auch die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles, wenn man aus A mit dem Halbmesser AU (der kleinen Halbaxe der Ellipse, welche zu AF sich verhält wie 0.6045 zu 1) in Folge des oben angegebenen Verfahrens einen Halbkreis beschreibt, und aus K zu ihm eine Tangente führt. Der Berührungspunkt L derselben bestimmt die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles.

107. Stimmt endlich die Einfallsebene des Strahles SA (Fig. 236) nicht mit einer Hauptschnittsebene des Doppelspathes überein, so befindet sich die Axe der doppelten Brechung Az außerhalb der Einfallsebene. In diesem Falle beschreibe man wie früher (106) in der Einfallsebene mit einem beliebigen Halbmesser AF einen Halbkreis, und in einer willkürlichen durch die Axe Az gelegten Ebene die vorhin erwähnte Ellipse mit denselben Abmessungen wie in 106. Stellt

man sich jetzt vor, diese Ellipse drehe sich um die feste Linie A z, so entsteht ein Ellipsoid. Hat man nun für den einfallenden Strahl S A durch den Punkt H, in dem seine Verlängerung den Halbkreis trifft, die Tangente H K gezogen, und den Durchschnittspunkt derselben mit der Fläche B C des Doppelspathes bestimmt, so ziehe man durch diesen Punkt K die auf die Einfallsebene senkrechte Gerade K R (oder was dasselbe heißt, in der Ebene der vom Lichte getroffenen Doppelspathfläche auf die B C, als Durchschnitt der Einfallsebene mit dieser Fläche, durch K eine Senkrechte), und lege durch K R zu dem Ellipsoide eine tangirende Ebene. Der Punkt M, in welchem die Berührung Statt findet, liegt in dem zu S A gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahle, wodurch die Richtung A M E desselben bekannt ist. Beschreibt man mit dem Halbmesser A F eine Halbkugel, so ist K R die Durchschnittslinie der zu H gelegten Berührungsebene der Halbkugel mit der Doppelspathfläche, die vom Strahle S A getroffen wird, welche Bemerkung auch dienen kann, die Lage von K R zu finden.

Diese allgemeine Construction enthält, wie man leicht sieht, diejenige, welche dem in einer Hauptschnittsebene einfallenden Lichte entspricht, als besonderen Fall in sich. Aus ihr folgt auch die in 104 4) angeführte Eigenthümlichkeit der ungewöhnlichen Brechung des Lichtes im Doppelspathe. Steht nämlich die Einfallsebene auf der Richtung der Axe der doppelten Brechung senkrecht, so wird das Ellipsoid von ihr in einem Kreise geschnitten, dessen Halbmesser der größeren Halbaxe der das Ellipsoid erzeugenden Ellipse gleichkommt, und der die Lage des ungewöhnlich gebrochenen Strahles bestimmende Berührungspunkt befindet sich stets in der Einfallsebene. Daher stimmt hier die ungewöhnliche Brechung mit der gewöhnlichen überein, nur ist der Brechungsexponent dem reciproken Werthe der größeren Halbaxe der Ellipse gleich.

Aus den Gesetzen der ungewöhnlichen Brechung läßt sich von allen Erscheinungen am Doppelspathe auf das Genaueste der Grund angeben. Ist z. B. A B C D (Fig. 237) ein Hauptschnitt des Krystalls, E ein leuchtender Punkt, so wird unter den Strahlen, die er auf C D sendet, einer seyn, dessen gewöhnlich gebrochener Theil E F G das Auge O trifft, während sein ungewöhnlich gebrochener Antheil E F g x für dasselbe verloren geht; dafür wird es aber einen anderen Strahl E H geben, dessen ungewöhnlich gebrochener Theil H I nach O gelangt, dessen ordentlich gebrochener H i y aber seitwärts vorbeigeht. Das Auge sieht daher den Punkt E zweimal und zwar in den Verlängerungen von O G und O I. Das durch den ordentlich gebrochenen Strahl entstandene Bild wird von D weiter entfernt scheinen, als das vom ungewöhnlich gebrochenen gemachte, weil sich die Strahlen in K kreuzen. Aus dieser Durchkreuzung erklärt sich auch folgende Erscheinung: Hält man einen isländischen Krystall sehr nahe ans Auge, und sieht damit auf einen Punkt so, daß man ihn doppelt wahrnimmt, fährt dann mit einem Stückchen Papier längs des Hauptschnittes hin; so wird derjenige Punkt zuerst verdeckt erscheinen, der vom Papier am weitesten absteht. Auf gleiche Weise erklärt man, warum eine mit dem Hauptschnitte parallele Linie einfach gesehen werden kann; warum sich ihr außerordentliches Bild vom ordentlichen entfernt, wenn man den

Krystall aus dieser Lage um eine, auf die gesehene Linie senkrechte Axe dreht; warum überhaupt bei diesem Drehen das außerordentliche Bild sich um das ordentliche bewegt u. dgl. m.

Setzt man zwei gleiche dreiseitige Prismen A B C und B D C (Fig. 238) aus Doppelspath zusammen, die so geschnitten sind, daß die Brechungsaxe im ersten auf A B senkrecht ist, im zweiten hingegen mit der Kante C parallel läuft; so wird ein Lichtstrahl E F, der senkrecht auf A B fällt, im ersten Prisma weder gespalten, noch überhaupt von seinem Wege abgelenkt. So wie er aber G trifft, wird ein Theil davon gerade nach H fortgehen, der andere hingegen die ungewöhnliche Brechung erleiden und die Richtung G I K annehmen. Befindet sich man in H das Auge, so bekommt es nur den Theil G H des Lichtstrahls E F, dafür erhält es aber von einem anderen Strahl E′F′ den ungewöhnlich gebrochenen Antheil G′I′H. Wenn auch beide Strahlen von demselben Punkte ausgegangen sind, so sieht doch das Auge zwei Bilder, und zwar eines nach H E, das andere nach H E″. Diese zwei Bilder stehen bei übrigens gleichen Umständen desto mehr von einander ab, je näher sich das Auge am Prisma befindet; bei einer bestimmten Entfernung des Auges vom Prisma werden sie sich am Rande berühren. Diese Zusammensetzung macht zuerst R o c h o n, und benützte sie zu einem Mikrometer für Fernröhre. Wird nämlich ein auf die beschriebene Weise verfertigtes Prisma zwischen dem Objectiv eines Fernrohres und seinem Brennpunkt angebracht, so sieht man das Object doppelt, und die beiden Bilder stehen desto weiter von einander ab, je weiter das Mikrometerprisma von dem durch das Objectiv gemachten Bilde entfernt ist; bei einem bestimmten Stande des Prisma's werden sich aber beide Bilder am Rande berühren, und dieser Ort wird desto mehr von den Bildern entfernt seyn, je größer dieselben sind. Daher wird man daraus auf die scheinbare, und mittelst bekannter Entfernung des Objectes auf die wirkliche Größe des Objectes schließen können.

Außer der doppelten Brechung gibt es im Doppelspathe auch noch nach Umständen eine einfache oder doppelte Reflexion. Fällt ein Strahl A B (Fig. 239) in der Ebene des Hauptschnittes auf den Krystall, so wird ein Theil desselben gleich nach den gewöhnlichen Gesetzen der Reflexion zurückgeworfen, der andere dringt in den Krystall ein und wird in zwei Bündel gespalten, wovon B C das gewöhnlich gebrochene, B C′ das ungewöhnlich gebrochene vorstellt. In C und C′ wird ein Theil des Lichtes in die Luft übergehen, und dort eine mit A B parallele Richtung annehmen, ein anderer hingegen wird zurückgeworfen, und nach den Gesetzen der Reflexion die Richtung C D und C′D′ annehmen. Liegt aber A B nicht in der Ebene des Hauptschnittes oder in einer ihr parallelen, so ereignet sich alles wie vorhin, nur wird jeder der in C und C′ zurückgeworfenen Strahlen selbst wieder in zwei Theile C D, C d und C′D′, C′d′ gespalten, und es ist gerade so, als wenn auf C und C′ zwei parallele Strahlen b C und b′C′ aufgefallen wären.

108. Das Phänomen der doppelten Brechung findet nicht bloß im Kalkspathe Statt, sondern man kann es als eine allgemeine Regel ansehen, daß alle durchsichtigen Krystalle, die nicht zu den vielarigen gehören, das Licht doppelt brechen. In jedem solchen Körper heißt die gerade Linie, längs welcher keine doppelte Brechung erfolgt (104. 3), die A x e d e r d o p p e l t e n B r e c h u n g, und eine Ebene, in welcher die Brechungsaxe liegt, der H a u p t s c h n i t t. Beim Doppel-

spath ist die Axe gegen die natürlichen Flächen des Krystalls stark geneigt, und die doppelte Brechung an und für sich sehr stark, darum bemerkt man sie so leicht; bei den meisten anderen doppelt brechenden Körpern hat die Brechungsaxe eine zu den natürlichen Flächen parallele Lage, darum erleiden die auf solche Flächen senkrecht einfallenden Strahlen keine doppelte Brechung, ja selbst schief einfallende werden in zwei so wenig divergirende Lichtbüschel getheilt, daß sich bei der meistens nur geringen Dicke der Krystalle die beiden durch doppelte Brechung entstandenen Bilder fast decken und als ein Bild erscheinen. Darum muß man solchen Krystallen, um ihre doppelte Brechung deutlich zu erkennen, künstliche, gegen die Axe der doppelten Brechung geneigte Flächen geben. So bemerkt man am Bergkrystalle, der als Combination eines sechsseitigen Prisma's und einer sechsseitigen Pyramide erscheint (Fig. 240), keine Spur einer doppelten Brechung, wenn man einen Gegenstand durch c d m n und g h r y ansieht. Schleift man aber g h r y so weg, daß eine mit e b d parallele Fläche entsteht, so erscheint das Phänomen einer doppelten Brechung recht deutlich. An kleinen Stücken vieler doppelt brechenden Krystalle erkennt man selbst dann, wenn sie zweckmäßig geschnitten sind, das Phänomen der doppelten Brechung nur aus der Verdoppelung einer dadurch angesehenen, scharfen Nadelspitze.

109. Krystalle, nach deren Gestalt es nur eine einzige Linie gibt, um welche die Flächen symmetrisch vertheilt sind, (d. h. jene, die nach Mohs ins rhomboedrische oder pyramidale System, oder nach Weiß ins drei- und einaxige, und zwei- und einaxige System gehören), haben auch nur eine Axe der doppelten Brechung und zwar für Licht von jedem Grade der Brechbarkeit dieselbe. Die ungewöhnliche Brechung erfolgt in allen diesen nach demselben Gesetze, auf alle ist die in 107 angegebene geometrische Construction anwendbar, nur die numerischen Werthe der Brechungsexponenten oder die Dimensionen der Ellipse, durch deren Rotation das die Richtung des ungewöhnlichen Strahles bestimmende Ellipsoid entsteht, variiren von einem zum anderen, und da zerfallen alle optisch einaxigen Körper in zwei Klassen. Bei der einen, als deren Repräsentant der Doppelspath gelten kann, ist der Brechungsexponent für die ungewöhnliche Brechung bei Strahlen, welche gegen die Brechungsaxe geneigt einfallen, stets kleiner als jener für die gewöhnliche Brechung, die erwähnte Ellipse rotirt um die kleinere Axe, es wird daher der ungewöhnlich gebrochene Strahl von der Axe gleichsam weggetrieben, abgestoßen. Bei Körpern der anderen Klasse, zu denen der Bergkrystall gehört, ist für die gegen die Axe geneigten Strahlen der Brechungsexponent des ungewöhnlichen gebrochenen Strahles größer als jener des gewöhnlich gebrochenen, die Ellipse rotirt um die mit der Axe der doppelten Brechung zusammenfallende größere Hauptaxe, und der ungewöhnlich gebrochene Strahl wird zur Axe hingetrieben, angezogen. Man nennt darum die in die erste Klasse gehörenden Körper abstoßende, die in die zweite fallenden anziehende; oder weil man sich vorstel-

len kann, es bestehe der Brechungsinder für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl bei ersteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlich gebrochenen Strahl weniger einem mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe veränderlichen Antheil, bei letzteren aus dem Brechungsinder für den gewöhnlichen Strahl mehr einem veränderlichen Antheil; so heißt man jene auch negative, diese positive. Es ist aber überhaupt das Verhältniß der zwei Brechungsexponenten für die beiden, durch doppelte Brechung gesonderten Strahlenbüschel, mithin auch die doppelt brechende Kraft nicht beständig, sondern hängt von der Temperatur ab, und wird (nach Rudberg) kleiner, wenn die Temperatur steigt. (Brewster in Gilb. Ann. 69. 1; Biot ebend. 65. 1; Rudberg in Pogg. Ann. 26. 291.)

110. Doppelt brechende Krystalle, deren Gestalt mehr als eine Linie zuläßt, um welche die Flächen symmetrisch vertheilt sind, haben zwei Axen der doppelten Brechung. (Sie gehören in die drei letzten Systeme nach Mohs und Weiß. Siehe I. 123. Anm.) Diese Axen sind stets gegen einander, und zwar für verschieden brechbare Strahlen verschieden geneigt, und die zu verschiedenen Strahlen gehörigen Axenpaare liegen in verschiedenen Ebenen, und zwar mit einander verglichen unsymmetrisch vertheilt, wie dieß nach Nörrenberg's Erfahrung bei dem Gipse, nach Müller bei dem ameisensauren Kupferoxyde der Fall ist. (Pogg. Ann. 35. 81; 472.) Sowohl ihre Neigung, als die Ebene, in welcher je zwei dieser Paare liegen, ändert sich mit der Temperatur; bei einer bestimmten Temperatur können sogar zwei oder mehrere Paare zusammenfallen, und daher die Körper für die betreffenden Strahlen zu den einaxigen gehören.

Guten Messungen zu Folge beträgt die Neigung der zwei Brechungsaxen bei Salpeter 5° 20′, bei blausaurem Kali 19° 24′, bei Lepidolith 45°, bei Schwerspath 50°, bei Topas 65°, bei schwefelsaurem Eisen 90°. Die Axen des weinsauren Kalinatrums sind für violettes Licht um 56°, für rothes um 76° gegen einander geneigt. Glauberit hat für rothes Licht zwei unter 5° gegen einander geneigte, für violettes aber nur eine Axe. Die Axen des Gipses fallen bei 73½° R. zusammen, bei einer höheren Temperatur gehen sie in einer auf den Hauptschnitt senkrechten Ebene aus einander.

111. In Krystallen mit zwei Brechungsaxen gibt es, genau genommen, gar keinen gewöhnlich gebrochenen Strahl, sondern jeder der zwei Theile, in welche ein einfallender Strahl getheilt wird, befolgt Gesetze, die von den gewöhnlichen abweichen, doch ist diese Abweichung für einen dieser zwei Theile nur gering, und ist deßhalb übersehen worden, bis Fresnel's sorgfältige auf später anzugebende theoretische Gründe gebaute Untersuchung das Vorhandenseyn derselben kennen lehrte. Wie Fresnel zeigte, kann die Lage der einem einfallenden Strahle entsprechenden gebrochenen Strahlen für zweiaxige Krystalle durch eine der in 107 gewiesenen ähnliche geometrische Construction gefunden werden, statt eines Umdrehungs-Ellipsoides muß man aber dabei eine aus zwei Abtheilungen zusammengesetzte, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen auch in rein geometrischer Hinsicht merk-

würdige Fläche gebrauchen, deren Beschaffenheit jedoch auf elementarem Wege keiner vollständigen Auseinandersetzung fähig ist. Es genügt hier zu bemerken, daß wenn man durch die beiden Axen, die wir hier, von der Farbenzerstreuung absehend, auf Strahlen von mittlerer Brechbarkeit beziehen, eine Ebene legt, der Durchschnitt dieser Fläche einen Kreis und eine Ellipse darstellt, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt (Fig. 241) mit jenem der Fläche zusammenfällt. Die Hauptaxen der Ellipse halbiren die Winkel der beiden optischen Axen; der Halbmesser des Kreises ist kleiner als die größere, und größer als die kleinere Hauptaxe, so daß der Kreis die Ellipse in vier Punkten A durchschneidet. In der Gegend dieser Punkte bildet die Fresnel'sche Fläche trichterförmige Vertiefungen (Hörner), die in Spitzen auslaufen, an deren Enden sich die genannten Punkte A befinden. Zieht man zu dem Kreise und zur Ellipse eine gemeinschaftliche Tangente wie BD, und legt durch diese eine Ebene, auf die Ebene des Schnittes, wodurch der Kreis und die Ellipse erhalten wurden, senkrecht, so ist erstere Ebene eine Berührungsebene der Fläche, welche auf die zugehörige trichterförmige Vertiefung wie ein Deckel paßt, und sämmtliche Berührungspunkte liegen in der Peripherie eines Kreises. Die Schnitte, welche senkrecht auf den hier betrachteten durch die beiden Axen der Ellipse gehen, liefern gleichfalls Kreise und Ellipsen, aber bei dem einen umschließt der Kreis die Ellipse, bei dem andern die Ellipse den Kreis. Die zwei Geraden BCB, welche durch den Mittelpunkt C der Fresnel'schen Fläche senkrecht auf die erwähnten Berührungsebenen an den Mündungen der Hörner gehen, sind die wahren optischen Axen; die zwei Geraden ACA, welche durch den Mittelpunkt der Fläche zu den Spitzen A der Hörner gehen, können die scheinbaren optischen Axen genannt werden. Der Winkel, um welchen die scheinbaren Axen von den wahren abweichen, ist in allen bekannten Fällen sehr klein.

112. Auf der Anwesenheit der trichterförmigen Vertiefungen an der Fresnel'schen Fläche beruht die von Hamilton entdeckte und von Lloyd auf experimentalem Wege nachgewiesene conische Brechung, vermöge welcher ein gewisser in einen zweiaxigen Krystall eintretender, oder ein aus demselben herausgehender Strahl in einen hohlen Strahlenkegel aufgelöset wird. Erstere heißt die innere, letztere die äußere conische Brechung. Entspricht nämlich einem eintretenden Strahle zur Bestimmung der Richtungen der gebrochenen Strahlen gerade jene Berührungsebene der Fresnel'schen Fläche, welche die Mündung eines Trichters schließt, so finden unendlich viele in der Peripherie eines Kreises liegende Berührungspunkte, mithin auch unendlich viele auf der Oberfläche eines Kegels vertheilte Strahlen Statt, welche, wenn die Austrittsfläche am Krystalle der Eintrittsfläche des Lichtstrahles parallel ist, beim Austritte einen Strahlencylinder geben, dessen Basis dem Querschnitte des Kegels an der Austrittsfläche gleich, und dessen Axe der Richtung des einfallenden Strahles parallel ist. An der Spitze eines Hornes gibt es unendlich viele

Berührungsebenen der Fresnel'schen Fläche, deren jede auf einen anderen äußeren Strahl sich bezieht, und alle diese Strahlen liegen in der Oberfläche eines Kegels. Dieser Kegel würde sich beim Eintreten in den Krystall auf einen einzigen Strahl reduciren, der in der Richtung einer scheinbaren optischen Axe fortginge, daher muß umgekehrt ein nach der Richtung einer solchen Axe austretender Strahl sich in einen Strahlenkegel auflösen. (Pogg. Ann. 28. 91.)

113. Außer den krystallisirten Körpern bewirken auch Glas, das nach einer Seite zusammengedrückt oder erhitzt und dann schnell abgekühlt worden ist, ferner viele eingedickte, vegetabilische und thierische Substanzen doppelte Brechung. Ein vierseitiges, rechtwinkeliges, etwa 1 Zoll dickes Glasprisma, das nach der Richtung der Axe mittelst einer kleinen eisernen Presse nur mäßig zusammengedrückt wird, zeigt eine vorgehaltene Nadelspitze deutlich doppelt. Fresnel erhielt an einem aus 9 Stücken zusammengesetzten und comprimirten Glasprisma, auf das er einen Lichtstrahl leitete, zwei Bilder, die in der Distanz eines Meters um 1½ Millimeter von einander abstanden. Ein Glascylinder, der zur Rothglühhitze gebracht und dann mit seiner Cylinderfläche auf einer kalten Metallplatte hin- und hergerollt wird, erhält durch das schnelle Abkühlen eine positive Axe der doppelten Brechung, welche mit seiner geometrischen Axe zusammenfällt. Ist dieser Cylinder elliptisch, so erhält er gar zwei Brechungsaxen. Diese Axen sind aber von denen der krystallisirten Körper wesentlich verschieden. Solche Körper besitzen in ihren kleinsten Theilchen dieselbe doppelt brechende Kraft, und eine Brechungsaxe ist nicht eine fixe Linie, sondern eine fixe Richtung. Ein durch Abkühlen, Druck &c. mit doppelt brechender Kraft versehener Körper, hat in einer bestimmten Linie das größte doppelt brechende Vermögen, und die Brechungsaxe liegt in dieser, nicht aber in den mit ihr parallelen Richtungen, hat demnach eine bestimmte Lage, nicht bloß eine bestimmte Richtung.

114. Wenn man von irgend einem das Licht doppelt brechenden Körper nach gehöriger Weise ein dreiseitiges Prisma schleifen läßt, und einen Lichtstrahl durchleitet; so wird man zwei Spectra erhalten, in welchen die Farben in vielen Fällen auf vollkommen gleiche, in besonderen Fällen, z. B. bei dem oxalsauren Chromoxyd-Kali, auf verschiedene Weise angeordnet sind, und in welchen man auch die dunklen Linien (34) bemerken kann. Diese bieten auch hier ein Mittel dar, die Werthe des Brechungsexponenten für verschiedenfarbige Strahlen, mithin auch die Größe der Farbenzerstreuung in beiden Bildern kennen zu lernen. Versuche dieser Art haben gelehrt, daß die Farbenzerstreuung nicht für beide Theile, in welche ein Strahl durch doppelte Brechung gespalten wird, dieselbe Größe habe, und daß das Verhältniß der Zerstreuung desselben Strahles in beiden Farbenbildern in verschiedenen Krystallen verschieden sey. (Pogg. Ann. 14. 45; 37. 317.)

115. Körper, welche das Licht einfach brechen, haben gewöhnlich, wenn sie durchsichtig sind, im durchgelassenen Lichte nach allen Richtungen dieselbe Farbe; doppeltbrechende hingegen besitzen nach ver-

schiedenen Richtungen eine verschiedene Färbung, d. h. Dichroismus. Dieses rührt davon her, daß schon die zwei durch doppelte Brechung getrennten Strahlenbüschel eine verschiedene von ihrer Neigung gegen die Brechungsaxe abhängige Farbe haben, und daß auch in verschiedener Richtung verschiedenfarbige Strahlen absorbirt werden. In der gelblichen Varietät des Doppelspathes ist das ungewöhnliche Bild längs der Axe stets von orangegelber, das gewöhnliche von gelblich weißer Farbe, und dieser Farbenunterschied der zwei Bilder wächst mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe. Aehnliche Phänomene bemerkt man an vielen anderen doppelt brechenden Krystallen. Der Dichroit erscheint längs der Axe der doppelten Brechung röthlich, in einer darauf senkrechten Richtung hingegen blau ꝛc. Durch Temperaturänderung kann dieser Dichroismus oft gesteigert werden. So z. B. fand Brewster in einer Varietät des brasilianischen Topases, wo eines der zwei Strahlenbüschel gelb, das andere braun erschien, daß durch Rothglühhitze die Farbe des ungewöhnlichen Strahles sehr, jene des gewöhnlichen fast gar nicht afficirt wird.

116. Stellt man zwei Doppelspathe so über einander, daß ihre Hauptschnitte einander parallel sind, so wird jener Theil eines einfallenden Lichtstrahles, welcher im ersten auf die gewöhnliche Art gebrochen wurde, auch im zweiten auf die gewöhnliche Weise gebrochen, und derjenige, welcher im ersten die ungewöhnliche Brechung erlitt, erleidet sie auch im zweiten. Man sieht daher durch beide Doppelspathe nur zwei Bilder des leuchtenden Gegenstandes. Stehen die Hauptschnitte beider Krystalle auf einander senkrecht, so erfährt jener Theil des einfallenden Strahles, der im ersten die ungewöhnliche Brechung erlitt, im zweiten die gewöhnliche und umgekehrt; man sieht daher wieder nur zwei Bilder. Bei jeder anderen Lage der beiden Hauptschnitte gegen einander wird sowohl der im ersten Krystalle auf die gewöhnliche, als auch der auf die ungewöhnliche Art gebrochene Strahl im zweiten wieder in zwei Theile zerlegt; man sieht daher vier Bilder. Diese haben eine gleiche Intensität, wenn die beiden Hauptschnitte um 45° gegen einander geneigt sind; bei jeder anderen Neigung der Hauptschnitte gegen einander, ist ihre Intensität verschieden.

117. Ein Lichtstrahl, der von Luft auf Glas fällt unter einem Winkel von 54° 35′ gegen das Einfallsloth, oder unter 35° 25′ gegen die Ebene des Glases, und dann durch einen Doppelspath geht, erleidet nur die gewöhnliche Brechung, falls der Hauptschnitt des Krystalls mit der Reflexionsebene parallel ist; hingegen nur die ungewöhnliche, wenn der Hauptschnitt auf der Reflexionsebene senkrecht steht. In jeder anderen Lage des Hauptschnittes gegen die Reflexionsebene erleidet der Strahl die doppelte Brechung, aber die beiden Strahlenbüschel sind nur dann gleich intensiv, wenn die zwei genannten Ebenen unter 45° gegen einander geneigt sind. Macht man diesen Versuch mit den unter demselben Einfallswinkel durch mehrere ebene Glasplatten geleiteten, also gebrochenen Theil des auffallenden Lichtstrahles; so bemerkt man ähnliche Phänomene, nur mit dem Unterschiede,

daß der Strahl ganz auf die gewöhnliche Weise gebrochen wird, wenn die Brechungsebene auf dem Hauptschnitte senkrecht steht, hingegen ganz auf die ungewöhnliche Weise, wenn diese Ebenen mit einander parallel sind. Es erlangt daher der unter obigem Winkel von Glas reflectirte Strahl die Eigenschaft des im Doppelspath gewöhnlich gebrochenen, der gebrochene die des ungewöhnlich gebrochenen Strahles, und die beiden Lichtbüschel, in welche der auf Glas fallende Strahl getheilt wird, und deren eines reflectirt, das andere gebrochen wird, verhalten sich, wie die beiden durch doppelte Brechung von einander getrennten Theile.

118. Man kann diesen Versuch auch umgekehrt anstellen, und statt den von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahl auf einen Doppelspath zu leiten, die schon in einem Doppelspath in zwei Bündel getheilten Büschel auf eine Glastafel auffallen lassen. In diesem Falle ist es gut, wenn man ein achromatisirtes Doppelspathprisma anwendet, in welchem die zwei Strahlenbüschel so stark divergirend gemacht werden, daß man jedes einzelne für sich auf das Glas leiten kann. Läßt man nun den gewöhnlich gebrochenen Strahl auf ein Glas unter 35° 25′ fallen; so wird ein Theil desselben unverändert reflectirt, ein anderer durchgelassen, wenn die Einfallsebene des Strahles auf Glas mit dem Hauptschnitte des Krystalls parallel ist, hingegen wird kein Theil des Strahles zurückgeworfen, sondern derselbe vollständig durchgelassen, oder (falls das Glas geschwärzt ist) absorbirt, wenn diese beiden Ebenen auf einander senkrecht stehen. Mit dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle findet das Gegentheil Statt. Dieser wird bei oben angegebener Neigung gegen die Ebene des Glases vollständig durchgelassen oder absorbirt, wenn die beiden obengenannten Ebenen mit einander parallel sind. Stehen diese Ebenen auf einander senkrecht, so findet partielle Reflexion und Transmission, jedoch ohne Aenderung der Beschaffenheit des Strahles, Statt. Bei einer schiefen Stellung der Einfallsebene des einen oder des anderen der beiden doppelt gebrochenen Strahlen gegen den Hauptschnitt des Doppelspathes, mit oder ohne Veränderung des Einfallswinkels erfolgt, nebst der theilweisen Reflexion und Transmission, noch eine Aenderung in der Beschaffenheit des Strahles, die einer Drehung der Hauptschnittsebene des Doppelspathes, der den Strahl geliefert hat, gleichgilt.

119. Es ist nicht schwer, vorherzusehen, wie sich ein auf Glas unter 35° 25′ auffallender Strahl nach der Reflexion oder Brechung verhalten wird, wenn man ihn unter demselben Winkel wieder auf eine Glasplatte auffallen läßt. Es wird nämlich der Strahl, welcher von einer Glastafel unter 35° 25′ reflectirt worden ist, und unter demselben Winkel auf eine zweite Glastafel fällt, zum Theil ungeändert reflectirt, zum Theil ungeändert durchgelassen, wenn die Einfallsebenen in beiden Gläsern mit einander parallel sind, hingegen vollständig und ungeändert durchgelassen, oder, falls das Glas geschwärzt ist, absorbirt, wenn jene Ebenen auf einander senkrecht stehen; in jeder Zwischenlage aber, bei einer jeden Neigung gegen die zweite Glas-

platte wieder in verändertem Zustande zum Theile reflectirt, zum Theile durchgelassen oder absorbirt. Das Gegentheil geschieht mit dem durch mehrere auf einander gelegte Glasplatten gebrochenen Strahle. Die Eigenschaften eines von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahles besitzt auch ein solcher, der von irgend einem anderen Körper von nicht gar zu großem Brechungsvermögen unter einem bestimmten Winkel reflectirt oder gebrochen worden ist, und es wurde vorher nur das Glas angeführt, um einen besonderen Fall vor Augen zu haben.

120. Aus dem bisher Gesagten geht hervor, daß ein Lichtstrahl, welcher die doppelte Brechung erlitten hat oder unter einem bestimmten Winkel reflectirt oder gebrochen worden ist, Eigenschaften besitzt, die sich nicht auf seine Richtung, sondern auf seine Seiten beziehen; denn solche Strahlen haben offenbar nicht mehr auf jeder Seite dieselbe Eigenschaft, weil sie bald die gewöhnliche, bald die ungewöhnliche Brechung erleiden, bald nur zum Theile, bald gar nicht reflectirt werden, je nachdem die eine oder andere Seite in der Einfallsebene liegt oder dem Hauptschnitte zugewendet ist. Diese Eigenschaft des Lichtes hat Malus, der sie zuerst am reflectirten und gebrochenen Lichte bemerkte, Polarisation desselben, und einen damit versehenen Strahl polarisirten Strahl genannt. Stellt Fig. 242 den Durchschnitt eines polarisirten, cylindrischen Lichtstrahles vor, und AB, CD zwei auf einander senkrechte Durchmesser des kreisförmigen Querschnittes; so muß man annehmen, der Strahl habe in A und B dieselben, und C und D zwar wieder einerlei, aber den vorigen entgegengesetzte Eigenschaften. Jene Eigenschaften, welche der in einem Doppelspathe gewöhnlich gebrochene oder der von Glas unter 54° 25′ reflectirte Strahl in A und B hat, besitzt der ungewöhnlich gebrochene oder der vom Glase unter dem gehörigen Winkel gebrochene Strahl in C und D. Deßhalb sagt man: Die zwei Theile, in welche ein Strahl durch doppelte Brechung oder beim Uebergang von einem Mittel in ein anderes unter einem bestimmten Winkel getheilt worden ist, sind unter einem rechten Winkel oder entgegengesetzt polarisirt. Die durch AB und CD gehenden, längs der Richtung des Strahles gelegten, mithin auf seinem Querschnitte senkrechten Ebenen heißen Polarisationsebenen. Da der Strahl hinsichtlich dieser Ebenen verschiedene Eigenschaften besitzt, so müssen dieselben von einander wohl unterschieden werden. Dieß geschieht dadurch, daß man eine derselben für die eigentliche Polarisationsebene des Strahles erklärt. Welche dieser zwei Ebenen aber man als die eigentliche Polarisationsebene des Strahles ansehen will, bleibt der Willkür anheim gestellt, nur muß man, um große Verwirrungen zu vermeiden, die einmal getroffene Wahl unverändert festhalten. Man ist seit der Entdeckung der Polarisation des Lichtes allgemein darüber einig, die Einfallsebene eines durch Reflexion polarisirten Strahles als seine Polarisationsebene zu betrachten. Da nun, der Erfahrung zu Folge, der Polarisationszustand eines Strahles, der in einem einaxigen Krystalle die gewöhnliche Brechung erlitten hat, mit dem eines Strahles, der durch

Reflexion in einer mit dem Hauptschnitte jenes Krystalls parallelen Ebene polarisirt worden ist, übereinstimmt, so ist der Hauptschnitt eines einarigen Krystalls nothwendig die Polarisationsebene des gewöhnlich gebrochenen Strahles. Die Polarisationsebene eines Strahles, der in einem einarigen Krystalle die ungewöhnliche Brechung erlitten hat, ist mit der Polarisationsebene eines Strahles parallel, der durch Brechung in einer mit dem Hauptschnitte jenes Krystalls parallelen Ebene polarisirt worden ist, doch ist dieser Zustand dem vorhergenannten entgegengesetzt, oder die genannten Polarisationsebenen schließen einen rechten Winkel ein. Zweiarige Krystalle geben durch doppelte Brechung Strahlen, deren einer in der Ebene der beiden Aren, der andere senkrecht darauf polarisirt ist. Eine in der Polarisationsebene eines Strahles auf dessen Richtung senkrechte Gerade kann man die Polarisationsrichtung desselben nennen.

Nach Brewster (*Treat. on optics. London* 1831. *p.* 160) soll nur bei abstoßenden Krystallen die Polarisationsebene des gewöhnlich gebrochenen Strahles mit der Ebene des Hauptschnittes übereinstimmen; bei anziehenden Krystallen aber, z. B. bei dem Bergkrystalle, diese Polarisationsebene mit dem Hauptschnitte einen rechten Winkel bilden, mithin der ungewöhnliche Strahl nach dem Hauptschnitte polarisirt seyn. Allein Thatsachen, die keinem Zweifel unterliegen, widersprechen dieser Angabe. Siehe Biot's *Traité de physique T.* 4. *p.* 314.

121. Um die Phänomene der Polarisation nebst den noch später abzuhandelnden bequem darstellen zu können, muß man eine besondere Vorrichtung, nämlich ein Polarisationsinstrument haben. Sehr bequem ist folgendes: Auf einem horizontalen Brete AB (Fig. 243) befindet sich ein geschwärzter ebener Glasspiegel C, der gegen den Horizont um 54° 35' geneigt ist und zur Polarisation des Lichtes dient. Er erhält durch einen anderen Planspiegel D Licht. Ueber jenem ist an einem verticalen Träger E eine kurze Röhre oder ein Ring F angebracht, welche zur Aufnahme der Apparate bestimmt ist, durch die man die Eigenschaften des polarisirten Lichtes untersucht. Diese sind ein Doppelspath, ein schwarzer Planspiegel aus Glas, und eine Anzahl über einander liegender ebenen Glasplatten oder eine polirte Metallplatte. Sowohl der Spiegel als die Platten passen in eine eigene Rahme G, die zwischen zwei metallenen Armen beweglich angebracht und an einem Ringe befestigt ist, der sich in den Ring F einschieben und um die Are derselben drehen läßt. Ein Doppelspath ist in Form eines dreiseitigen Prisma's, das durch ein Glasprisma achromatisirt ist, geschnitten, und in einem durchlöcherten Deckel befestiget, der auf das obere Ende des Ringes F eben so paßt, wie der vorher genannte Ring. Zu einem besonderen Gebrauche ist zwischen dem Ringe F und dem Spiegel C ein horizontaler, durchbrochener Tisch H angebracht, der sich neigen und überdieß um eine auf seiner Ebene senkrechte Are drehen läßt; auch kann man zur Abhaltung des störenden Seitenlichtes an F eine Röhre setzen, und auch deren unteres Ende für gewisse Versuche mittelst eines passenden durchlöcherten Deckels schließen.

Statt des geschwärzten Polarisationsspiegels kann man, nach Nörrenberg, auch eine gegen den Horizont unter dem Winkel von 54° 35' geneigte unbelegte Glasplatte C (Fig. 244) anwenden, unter der sich ein gewöhnlicher Glasspiegel M in horizontaler Lage befindet. Das auf die untere Fläche der Glasplatte nach der Richtung a b fallende Licht wird in polarisirtem Zustande vertical auf den Spiegel M geworfen, und von demselben in entgegengesetzter Richtung aufwärts gesendet; ein Theil desselben geht durch die Glasplatte C hindurch, und gelangt zu den Apparaten, welche polarisirtes Licht aufzunehmen bestimmt sind. Diese Einrichtung gewährt in manchen Fällen Vortheile. (Ueber Seebeck's Apparat s. Zeitsch. 2. 451.)

122. Leitet man von einem gegenüberstehenden Gegenstande parallele Strahlen auf den Spiegel C, so werden sie vollkommen polarisirt und fallen auf den Spiegel der Rahme G. Ist dieser unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation gegen den einfallenden Strahl geneigt und so gestellt, daß die Einfallsebene mit der auf C parallel ist; so sieht man den Gegenstand, der das Licht auf den Polarisationsspiegel sendet, oder die Oeffnung des unteren Deckels der Röhre, im reflectirten Lichte. Dreht man nun den Spiegel mit der Rahme G um die Axe der Röhre, ohne seine Neigung gegen den einfallenden Strahl zu ändern; so wird der vorhin im reflectirten Lichte deutlich erschienene Gegenstand immer dunkler und verschwindet endlich ganz, wenn man den Spiegel um 90° gedreht hat, in welchem Falle seine Einfallsebene auf der von C senkrecht steht. Fährt man fort, den Spiegel nach derselben Richtung zu drehen; so nimmt die Menge des reflectirten Lichtes wieder zu, der Gegenstand erscheint immer deutlicher, bis er nach einer Drehung von abermals 90°, wo beide Einfallsebenen wieder mit einander parallel sind, seine erste Lichtstärke wieder erhält, und daher alles Licht reflectirt wird. Bei fortgesetztem Drehen um neue 90°, tritt wieder der erste, bei fernerem der zweite Fall ein, so, daß während einer vollen Umdrehung die Menge des reflectirten Lichtes zweimal ihr Maximum erreicht, und eben so oft = o wird. Nimmt man statt des Spiegels in der Rahme G Glasplatten, so ist der Erfolg derselbe, wie vorhin, nur wird man bemerken, daß das Licht, welches sich der Reflexion entzieht, durchgelassen wird, so daß der Gegenstand im durchgelassenen Lichte am hellsten erscheint, wenn die Reflexionsebene in C mit der in den Gläsern der Rahme G einen rechten Winkel einschließt, hingegen am dunkelsten, wenn diese beiden Ebenen mit einander parallel sind; auch wird die Menge des durchgelassenen Lichtes während einer vollen Umdrehung der Gläser zweimal ihr Maximum und zweimal ihr Minimum erlangen. Wenn die Gläser so stehen, daß sie das wenigste Licht durchlassen, und der Einfallswinkel des Lichtes durch Neigen der Rahme G geändert wird, so wächst die durchgelassene Lichtmenge alsogleich. Am größten wird sie, wenn die Strahlen senkrecht auffallen. Ersetzt man endlich die Rahme G durch den mit dem Doppelspathprisma versehenen Deckel, so sieht man die Oeffnung des unteren Deckels durch den Doppelspath nur einfach, sobald die Reflexionsebene des Lichtes im Polarisationsspiegel

mit dem Hauptschnitte des Doppelspathes parallel ist. Dreht man den Deckel und hebt so diesen Parallelismus auf, so erscheint alsogleich das Bild der Deckelöffnung doppelt, aber die zwei Bilder haben eine sehr ungleiche Intensität. So wie man aber mit dem Drehen fortfährt, wächst die Intensität des schwächeren Bildes zusehends und die des stärkeren nimmt ab, bis beide einander gleich sind, welches dann erfolgt, wenn die Polarisationsebene gegen den Hauptschnitt um 45° geneigt ist. So wie man diese Neigung vergrößert, wird das vorhin schwächere Bild das intensivere und umgekehrt, bis ersteres ganz verschwindet und man wieder nur ein Bild sieht, aber nicht dasselbe, wie im vorhergehenden Falle. Dieses tritt ein, wenn die Reflexionsebene auf dem Hauptschnitte senkrecht steht. Bei fernerem Drehen des Doppelspathes beginnt die ganze Reihe dieser Erscheinungen wieder von Neuem, so daß sie bei einer vollen Umdrehung viermal, und zwar zweimal in derselben, zweimal in umgekehrter Ordnung eintreten. Alle diese Erscheinungen zeigen sich am besten bei bewölktem Himmel. Bei heiterem Himmel ist das Licht gewöhnlich, besonders an sonst hellen Orten, zu stark.

123. Wenn man die zwei entgegengesetzt polarisirten Theile eines Lichtstrahles, in welche derselbe durch doppelte Brechung oder durch theilweise Reflexion und Brechung gespalten worden ist, wieder vereiniget, so geht daraus ein gewöhnlicher, nicht polarisirter Strahl hervor. Dieses deutet an, daß ein gewöhnlicher Strahl aus zwei entgegengesetzt polarisirten Hälften bestehe, und daß der Act der Polarisation nur eine Trennung dieser zwei Theile bewirke. Kann nämlich ein mit dem Hauptschnitte eines doppelt brechenden einaxigen Krystalles parallel polarisirter Strahl in diesem nur ordentlich, ein senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirter Strahl nur außerordentlich gebrochen werden, so folgt hieraus nothwendig die Sonderung eines Lichtstrahles, der aus zwei entgegengesetzt polarisirten Theilen betrachtet werden kann, in diese zwei Bestandtheile durch die Einwirkung des Krystalles auf ihn. Ist ferner eine Glasplatte unfähig, von einem senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Strahle, der sie unter dem Neigungswinkel von 35° 25′ trifft, irgend einen Theil zu reflectiren, so kann bei dieser Incidenz das von einem gewöhnlichen Lichtstrahle herrührende Licht bloß in der Einfallsebene polarisirt seyn, und das durchgelassene Licht wird aus senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirtem Lichte, das mit einem geringen Antheile in der Einfallsebene polarisirten Lichtes gemengt ist, bestehen. Fällt dieses auf eine zweite mit ersterer parallele Glasplatte, so enthält der durchgelassene Strahl noch weniger von dem in der Einfallsebene polarisirten Lichte, und dieses wird, bei Anwendung einer hinreichenden Anzahl Glasplatten, endlich ganz unmerklich, so daß das durchgehende Licht lediglich aus senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Strahlen besteht. Eine solche Trennung der im gewöhnlichen Lichte vorhandenen entgegengesetzt polarisirten Theile kann auch durch Zerstreuung oder Absorption eines Theiles, so daß nur der andere zurückbleibt, bewerkstelliget werden.

Durch Zerstreuung wirkt eine Achatplatte, und zwar wird von einem darauf fallenden Lichtstrahl in einer bestimmten Lage der Platte ein polarisirter Theil, in einer anderen der andere Theil zerstreut, während der zweite zurückbleibt. Durch Absorption polarisirt der Turmalin. Ein Plättchen aus einem Turmalinkrystall, das parallel mit der Krystallaxe gespalten ist, absorbirt von einem darauf fallenden Strahl den ordentlich gebrochenen, nach der Richtung der Axe polarisirten Theil, und läßt den anderen, d. i. den außerordentlich gebrochenen, senkrecht gegen die Axe polarisirten, durch. Ein solches Plättchen ist daher für darauf fallendes bereits polarisirtes Licht undurchsichtig, wenn die Polarisationsebene der Axe des Plättchens parallel ist. Deßhalb geht durch zwei Turmalinplättchen, deren Axen sich kreuzen, kein Licht durch, während sie, wenn die Axen parallel sind, Licht reichlich durchlassen. Es dürfen aber, damit dieser Erfolg befriedigend eintrete, die Plättchen nicht zu dünn seyn. Betrachtet man einen schmalen hellen Gegenstand durch ein dreiseitiges Turmalinprisma, dessen brechender Winkel klein ist, und seine Kante mit der Krystallaxe parallel hat, so erscheint der Gegenstand doppelt, wenn das Licht nahe an dieser Kante durch das Prisma geht; läßt man aber das Licht nach und nach durch Stellen gehen die von der Kante entfernt sind, mithin eine größere Dicke haben; so wird das durch gewöhnliche Brechung entstandene Bild dunkler, und verschwindet zuletzt gänzlich. Eine Turmalinplatte ist demnach ein treffliches Mittel, um in einer bestimmten Richtung polarisirtes Licht zu erhalten, oder auch um zu prüfen, ob ein in das Auge eindringender Lichtbündel polarisirt sey, und welche Lage dessen Polarisationsebene habe. Noch anwendbarer ist zu diesem Zwecke Nicol's Doppelspathprisma, worin einer der zwei durch doppelte Brechung entgegengesetzt polarisirten Strahlen, nämlich der gewöhnlich gebrochene, weggeschafft wird, während der ungewöhnlich gebrochene durchgeht, und für sich zu weiteren Versuchen gebraucht werden kann. (Sehr empfindliche Mittel zur Prüfung des Lichtes, hinsichtlich seines Polarisationszustandes, werden sich später ergeben.)

Nicol's Prisma kommt an Gestalt einem natürlichen Doppelspathrhomboeder ziemlich nahe. Man erhält es, wenn man die spitzigen Kantenwinkel eines kleinen Doppelspathrhomboeders zu 68° zuschleift, die neuen Flächen polirt, das Rhomboeder dann in zwei gleiche Theile theilt, durch einen Schnitt, der durch die spitzigen Kantenwinkel und die stumpfen Körperwinkel geht, und endlich die Schnittflächen durch Canadabalsam oder Terpentin wieder vereinigt. Fällt nun ein Strahl auf ein solches Prisma, so erleidet er in demselben die doppelte Brechung; der gewöhnlich gebrochene Strahl, auf den die Balsamschichte wie ein schwächer brechendes Mittel wirkt, erleidet an derselben, der Schiefe der Incidenz wegen, die totale Reflexion, und wird seitwärts abgelenkt, während der andere Strahl, rücksichtlich dessen die Balsamschichte als ein stärker brechendes Mittel zu betrachten ist, dieselbe durchdringt. Der Parallelismus der Ein- und Austrittsfläche bewirkt die Achromatisirung des durchgelassenen Lichtes. (Zeitsch. 6. 231.)

Ist ein Turmalinplättchen parallel mit der Axe des Krystalls, von welchem es genommen wurde, geschnitten, so läßt sich die Lage seiner

optischen Axe jederzeit leicht angeben. Sieht man nämlich, das Plättchen vor das Auge haltend, gegen den Spiegel des Polarisationsinstrumentes, oder auch nur in schiefer Richtung gegen eine geschwärzte, vom Tageslichte beleuchtete Glasplatte, und dreht man dabei das Plättchen in seiner Ebene, d. h. um eine auf seiner Ebene senkrechte Gerade als Axe herum, so zeigt sich das Gesichtsfeld während einer Umdrehung zweimal in größter Helligkeit und zweimal in größter Dunkelheit. So oft letzteres der Fall ist, befindet sich die optische Axe des Plättchens in der Reflexionsebene des Lichtes. Findet man, daß bei einer bestimmten Stellung des Plättchens ein auf selbes senkrecht einfallender Lichtstrahl gänzlich verschluckt wird, so ist dieser polarisirt, und seine Polarisationsrichtung stimmt mit der Axe des Plättchens überein. Gesetzt, man habe ein dreiseitiges Prisma aus Bergkrystall, dessen Seitenflächen mit der Krystallaxe parallel geschnitten sind, so aufgestellt, daß die Kante des brechenden Winkels horizontal und abwärts gekehrt ist, und man betrachte damit einen etwas entfernten horizontalen weißen Papierstreifen. Man erblickt unter dem Gegenstande zwei über einander gestellte, wegen der Farbenzerstreuung gefärbte, jedoch deutlich getrennte Bilder, die beide [(siehe 104, 4)] nach den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung des Lichtes entstehen. Da die ungewöhnliche Brechung im Bergkrystalle anziehend erfolgt, so ist im vorliegenden Falle der Brechungsexponent für den ordentlichen Strahl kleiner als für den außerordentlichen; demnach entspricht das höher stehende Bild der ordentlichen, das tiefere der außerordentlichen Brechung des Lichtes. Bringt man nun ein Turmalinplättchen zwischen das Prisma und das Auge, und befindet sich die Axe desselben in einer Verticalebene, d. h. in der Stellung, in der das von einer horizontalen geschwärzten Platte schief kommende Licht aufgehalten wird, so verschwindet das tiefere Bild. Dreht man das Turmalinplättchen um 90°, so erscheint dieses wieder, und es verschwindet das höhere Bild. Es sind demnach die Strahlen, welche das höhere Bild geben, parallel mit der Kante des Prisma's, folglich parallel mit der Axe des Bergkrystalls, d. h. im Hauptschnitte, die Strahlen dagegen, denen das tiefere Bild gehört, senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt. Hieraus ergibt sich die Folgerung, daß auch im Bergkrystalle die gewöhnlich gebrochenen Strahlen im Hauptschnitte, die ungewöhnlichen senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt sind. (Vergl. 120 Anm.) Hiernach läßt sich auch sehr leicht erkennen, ob eine doppelt brechende Substanz, aus der man ein Prisma geschliffen hat, auf das Licht attractiv oder repulsiv wirke.

Ein Turmalinplättchen, oder besser wegen der größeren Durchsichtigkeit und Farblosigkeit ein Nicol'sches Prisma, kann bei manchen Untersuchungen mit großem Vortheile gebraucht werden, um einen Theil des ins Auge eindringenden Lichtes wegzuschaffen. Belegt man z. B. eine farbige Glastafel an der Rückseite mit Spiegelfolie, so gibt ein davor gehaltener schmaler undurchsichtiger Gegenstand zwei lebhaft und complementär gefärbte Bilder. Das zur Farbe der Glastafel complementäre Bild gehört (durch Contrast mit dieser Farbe) dem weißen Lichte, welches von der Vorderfläche der Tafel an derjenigen Stelle reflectirt wird, wohin kein von der Hinterfläche reflectirtes gelangen kann, weil der undurchsichtige Gegenstand gewisses Licht, von dem sonst ein Theil bis zur Hinterfläche eingedrungen wäre, von der Tafel gänzlich abhält. Die Richtigkeit dieser Ansicht wird über jeden Zweifel erhoben, wenn man das von der Vorderfläche des Glases reflectirte, mithin polarisirte Licht mittelst eines gehörig gerichteten Nicol'schen Prisma's von dem Auge ausschließt, während das von

der metallischen Rückwand kommende durch das Prisma hindurchgeht. Da verwandelt sich das complementäre Bild in einen farblosen Schatten. (Dove in Pogg. Ann 45. S. 158.)

Eine interessante Anwendung dieses Wegschaffens des polarisirten Lichtes auf das deutlichere Sehen von Gegenständen, die unter Wasser sich befinden, hat Arago angegeben. Es überwiegt nämlich das von der Oberfläche des Wassers durch Spiegelung in das Auge kommende Licht, seiner großen Intensität wegen, den Eindruck, den das aus dem Wasser spärlich heraustretende hervorzubringen vermag, dergestalt, daß letzterer gänzlich verwischt wird. Aber das von oben auf die Wasserfläche fallende Licht wird an selber, wenn der Reigungswinkel seiner Richtung gegen diese Fläche nahe 37° beträgt, durch Reflexion polarisirt. Sieht man daher nach dieser Richtung mit freiem Auge oder mittelst eines Fernrohres gegen das Wasser, und läßt man das dem Auge zugesendete Licht vorher durch ein schicklich angebrachtes Turmalinplättchen oder Nicol'sches Prisma gehen, so wird alles von der Wasserfläche reflectirte Licht ausgeschlossen, und man erhält lediglich die aus dem Wasser hervorkommenden Strahlen. Welchen Nutzen dieß den Schiffern gewähren kann, ist für sich klar.

124. Das kleinste Stück eines doppelten brechenden Körpers vermag einen sehr intensiven Strahl vollkommen zu polarisiren; zur vollkommenen Polarisation durch Reflexion oder Brechung gehört aber nicht bloß ein bestimmter Einfallswinkel, sondern bei letzterer auch ein Strahl, dessen Intensität eine gewisse Größe nicht überschreitet. Der Winkel, unter welchem ein Strahl einfallen muß, damit er durch Reflexion vollkommen polarisirt werde (Polarisationswinkel), ist bei einfach brechenden Körpern immer derjenige, für welchen der gebrochene Antheil auf dem reflectirten senkrecht steht, oder dessen Tangente dem Brechungsexponenten gleich ist. Er hängt demnach vom Brechungsvermögen der zwei an einander grenzenden Mittel ab, und ist daher für verschiedenfarbiges Licht verschieden. In Mitteln von nicht gar großem Brechungsvermögen, wie z. B. in Wasser, Glas rc. ist dieser Unterschied nicht sehr bemerkbar, wohl aber in solchen, deren Brechungsvermögen bedeutend ist, wie z. B. in Diamant, Cassiaöhl, Schwefelalkohol. In doppelt brechenden Körpern ist das Gesetz, nach welchem sich der Polarisationswinkel richtet, sehr complicirt, doch gibt es auch da eine Richtung, in welcher obiges Gesetz herrscht und der Polarisationswinkel von der doppelt brechenden Kraft unabhängig ist. (A. Seebeck in Pogg. Ann. 21. 311; 22. 126.)

Aus obigem Gesetze erklären sich mehrere interessante Erscheinungen: z. B. warum man es bei starker Beleuchtung nie dahin bringen kann, daß der Gegenstand, welcher das Licht auf den Polarisationsspiegel sendet, im Untersuchungsspiegel gar nicht gesehen wird, wenn auch nach der Theorie gänzliche Dunkelheit herrschen soll; eben so warum selbst bei mäßiger Lichtstärke da, wo alles dunkel seyn soll, ein schwaches röthlich blaues Licht vorhanden ist (weil nämlich der Polarisationswinkel eigentlich nur den Strahlen von mittlerer Brechbarkeit entspricht); ferner warum in dem Falle, wenn der Gegenstand im Untersuchungsspiegel kaum wahrnehmbar ist, derselbe alsogleich sichtbar wird, wenn man den Polarisationsspiegel anhaucht. — Zur vollkommenen Polarisirung durch Brechung braucht man nicht bloß einen

bestimmten Einfallswinkel, und zwar denselben wie für die Polarisirung durch Reflexion, sondern überdieß auch noch eine der Lichtstärke angemessene Anzahl von Brechungen.

Da alle durchsichtigen und sehr viele undurchsichtige Körper das Licht zu polarisiren vermögen, so darf man sich nicht wundern, daß das meiste Licht schon ohne unser Zuthun polarisirt zu uns komme. Das uns vom heiteren Himmel oder von Wolken zugesendete, das schief durch unsere Fenstergläser gehende, das von Mauern, Kästen etc. reflectirte Licht trägt schon deutliche Spuren der Polarisation an sich; selbst das Licht, welches brennende Körper aussenden, fand Arago zum Theile polarisirt, wenn diese fest oder tropfbar flüssig waren, nur bei gasförmigen konnte er keine Spur einer Polarisation entdecken.

125. Fällt ein polarisirter Lichtstrahl unter einem beliebigen Winkel auf eine geschwärzte Glasplatte, und stimmt die Polarisationsebene desselben mit der Einfallsebene überein, oder bilden diese Ebenen einen rechten Winkel, so trägt der reflectirte Strahl genau die Beschaffenheit des einfallenden an sich; er ist wie dieser polarisirt, und nur hinsichtlich der Intensität von ihm verschieden. Ist aber die Polarisationsebene des einfallenden Strahles unter einem schiefen Winkel gegen die Einfallsebene geneigt, so erscheint der reflectirte Strahl auch noch als ein polarisirter, allein seine Polarisationsebene macht, den Fall der senkrechten Incidenz ausgenommen, mit der Einfallsebene einen andern Winkel als vor der Reflexion. Dasselbe gilt auch bei der Reflexion des polarisirten Lichtes von Wasser und andern durchsichtigen Medien. Man kennt das Gesetz dieser Drehung der Polarisationsebene durch Reflexion an der Oberfläche einfach brechender Substanzen genau. Ist nämlich a der Einfallswinkel des polarisirten Strahles, b der Brechungswinkel für das in die durchsichtige Substanz eindringende Licht, φ der Winkel, den die Polarisationsebene des einfallenden Lichtes mit der Einfallsebene macht, ψ dieser Winkel für das reflectirte Licht, so besteht die von Fresnel aufgestellte Gleichung:

$$tang\,\psi = tang\,\varphi \cdot \frac{cos\,(a + b)}{cos\,(a - b)}.$$

Die Richtigkeit derselben wurde besonders von Brewster durch zahlreiche Versuche bewiesen.

Eine ähnliche Bewandtniß hat es mit dem in ein einfach brechendes Medium eindringenden Theile eines polarisirten Lichtstrahles. Auch hier findet im Allgemeinen eine Drehung der Polarisationsebene Statt. Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, und nennen wir den Winkel, den die Polarisationsebene des gebrochenen Strahles mit der Einfallsebene macht, ω, so gilt die gleichfalls von Brewster scharf geprüfte Gleichung

$$tang\,\omega = \frac{tang\,\varphi}{cos\,(a - b)},$$

aus welcher sich alle hier vorkommenden Einzelnheiten leicht entnehmen lassen.

126. Ein gewöhnlicher Lichtstrahl, der auf einen Körper unter einem Winkel auffällt, der größer oder kleiner ist als der Polarisa-

tionswinkel, erscheint nach der Reflexion oder Brechung nicht als ein polarisirter, dieß Wort in der bisher gebrauchten Bedeutung genommen, denn er gibt mittelst eines Doppelspathes selbst dann noch zwei Bilder, wenn der Hauptschnitt des letzteren mit der Einfallsebene parallel ist, doch sind diese zwei Bilder nicht wie beim unpolarisirten Lichte gleich hell, sondern eines überwiegt das andere an Helligkeit desto mehr, je näher der Einfallswinkel auf den reflectirenden oder brechenden Körper dem Polarisationswinkel steht. Ein solcher Strahl hat demnach zum Theile die Eigenschaften eines gewöhnlichen, zum Theile jene eines polarisirten an sich, und heißt deßhalb unvollkommen polarisirt. Betrachtet man das gemeine Licht als zusammengesetzt aus zwei rechtwinkelig polarisirten Hälften, und untersucht die Drehung der Polarisationsebene einer jeden, so läßt sich einsehen, wie es kommt, daß ein sogenannter unvollkommen polarisirter Strahl durch mehrere auf einander folgende Reflexionen oder Brechungen unter Winkeln, die vom Polarisationswinkel abweichen, zu einem vollkommen polarisirten wird, und Brewster's Annahme rechtfertigen, derselbe bestehe aus zwei Hälften, die unter einem stumpfen oder spitzigen Winkel polarisirt sind, während ein natürlicher Strahl zwei unter 90° polarisirte Hälften hat. Uebrigens kann man sich in vielen Fällen der Bequemlichkeit wegen erlauben, einen unvollkommen polarisirten Strahl als solchen zu betrachten, der aus vollkommen polarisirten und aus unpolarisirten Theilen besteht. Eine vollständige Aufklärung dieses Gegenstandes ist aber ohne theoretische Principien über die Natur des Lichtes kaum möglich, daher es für jetzt genügen mag die Sache angedeutet zu haben. (Zeitsch. 8. 494; Pogg. Ann. 19. 259, 281.)

127. Fällt ein gemeiner Lichtstrahl auf eine durchsichtige (nicht geschwärzte) Platte schief auf, und ist der Einfallswinkel jener der vollkommenen Polarisation, so thut das an der Hinterfläche ein oder mehrere Male reflectirte Licht der Reinheit des Polarisationszustandes des von der Vorderfläche zurückgeworfenen Lichtes keinen Eintrag, weil nach dem in 124 ausgesprochenen Gesetze der gebrochene Strahl die Hinterfläche und jeder von der Hinterfläche reflectirte die Vorderfläche unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation trifft. Anders verhält sich aber die Sache bei anderen Einfallswinkeln. Da besteht sowohl der durchgelassene als der reflectirte Antheil aus verschieden polarisirtem Lichte, eben weil die Reflexion nicht bloß an der ersten Fläche, sondern auch an der Hinterfläche vor sich geht, und der reflectirte Strahl nicht bloß solche Theile enthält, die an der ersten Fläche reflectirt werden, sondern auch andere, die zwei Brechungen und eine Reflexion an der Hinterfläche erlitten haben; mit dem durchgelassenen ist etwas Aehnliches der Fall. Da jede Brechung und jede schiefe Reflexion polarisirend wirkt, und der durch Brechung erzeugte Polarisationszustand von dem durch Reflexion hervorgebrachten verschieden ist; so muß daraus ein eigenthümlicher Zustand hervorgehen, der davon abhängt, ob die Wirkung der Brechung oder jene der Re-

flexion das Uebergewicht habe. Zur näheren Analyse dieser scheinbar sehr complicirten Modification braucht man am besten ein Glasprisma (Fig. 245), welches so geschnitten ist, daß der auf die Fläche a b schief einfallende Strahl S c nach der Brechung in c und der Reflexion in d senkrecht aus a e austritt, weil hiedurch der Polarisationszustand des Strahles nicht geändert wird. Untersucht man den Polarisationszustand des Strahles d x mittelst eines Doppelspathes, und vergleicht ihn mit demjenigen, welchen er durch Brechung in c erhalten haben muß; so erfährt man die Versetzung seiner Polarisationsebene durch die Reflexion in d. Setzt man auf die Fläche a e ein Stück a g e, um das Prisma zu einem rechtwinkeligen Parallelepiped zu machen, untersucht dann den austretenden Strahl h y neuerdings, und vergleicht seinen Polarisationszustand mit dem vorhergehenden, so erfährt man auch den Einfluß der Brechung in h. Durch Untersuchungen dieser Art fand Brewster folgendes Gesetz: Ein Lichtbüschel, der nach zwei Brechungen und einer Reflexion an der Hinterfläche einer durchsichtigen Platte ins Auge kommt, enthält bei jedem Einfallswinkel von 0° bis zu einer bestimmten, vom Brechungsvermögen der Platte abhängigen Größe einen Antheil, welcher in der Reflexionsebene polarisirt ist, und es hat daher bis zu dieser Grenze die Reflexion das Uebergewicht über die Brechung; bei diesem Grenzwerthe des Einfallswinkels hat der Strahl seinen natürlichen Zustand und die Brechung hält der Reflexion das Gleichgewicht, über denselben hinaus hingegen enthält der Strahl einen senkrecht auf jene Polarisationsebene polarisirten Theil zum Beweise, daß da die Brechung mehr vermag als die Reflexion. Aehnlich verhält sich ein Strahl nach einer Brechung und einer Reflexion, nur mit dem Unterschiede, daß jener Grenzwinkel einen anderen Werth hat. (Zeitsch. 9. 221; Pogg. Ann. 19. 518.)

128. Wird ein polarisirter Strahl an der Grenzfläche eines einfach brechenden Mittels zurückgeworfen, so hängt die Lage der Polarisationsebene des reflectirten Strahles, wie aus der in 125 angegebenen Formel erhellet, nicht bloß von der Stellung der Polarisationsebene des einfallenden gegen die Einfallsebene und vom Einfallswinkel, sondern überdieß noch von der Beschaffenheit der an einander grenzenden Medien ab, denn es kommt in dieser Formel auch der zu dem vorhandenen Einfallswinkel gehörende Brechungswinkel vor. Deßhalb aber gibt dieselbe über den Zustand des reflectirten Strahles im Falle der totalen Reflexion, wo der Brechungswinkel imaginär erscheint, keinen Aufschluß. Indem Fresnel die Modification des polarisirten Lichtes in genanntem Falle zum Gegenstande seiner Untersuchungen machte, wurde er zu einer seiner schönsten und wichtigsten Entdeckungen geführt, die wir jetzt aus einander setzen wollen. Läßt man einen polarisirten Lichtstrahl A B in ein dreiseitiges mit gleichen Winkeln bei E und F versehenes Glasprisma D E F, Fig. 246, senkrecht gegen die Fläche D F eintreten, wodurch er hinsichtlich seines Polarisationszustandes ungeändert an der Fläche E F ankommt, und hat man den Winkel D dergestalt gewählt, daß der Strahl in B to-

tal reflectirt wird; so findet man den zurückgeworfenen Strahl BO (der wegen des senkrechten Austrittes an der Fläche DE keine weitere Veränderung erleidet) wie vor dem Eintritte in das Prisma polarisirt, wenn die ursprüngliche Polarisationsebene mit der Einfallsebene parallel, oder auf ihr senkrecht ist; dagegen gänzlich verändert, und scheinbar in einen sogenannten unvollkommen polarisirten Strahl (126) verwandelt, wenn die ursprüngliche Polarisationsebene eine schiefe Stellung gegen die Einfallsebene hat. Der reflectirte Strahl gibt nämlich in letzterem Falle, mittelst eines Doppelspathes, bei jeder Lage des Hauptschnittes zwei Bilder, deren Intensität mit der Stellung des Hauptschnittes wechselt, ohne jedoch sich auf Null zu reduciren. Er ist demungeachtet von einem unvollkommen polarisirten Strahle wesentlich verschieden. Um die Veränderung, welche die totale Reflexion einem polarisirten Lichtstrahle beibringt, in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, ist es am zweckmäßigsten, statt des dreiseitigen Prisma's ein Parallelepiped von der Form DEFG, Fig. 247, anzuwenden, dessen spitze Winkel D und F für Glas mit dem Brechungsexponenten 1.5 entweder 48° oder 54° betragen, und dessen Länge gestattet, daß ein durch die Fläche DG senkrecht eindringender Lichtstrahl AB nach zwei Reflexionen bei B und C, die hier nothwendig totale sind, durch die Fläche EF austrete, was gleichfalls unter einem rechten Winkel geschieht. Setzt man ein solches Fresnel'sches Parallelepiped mit der Fläche DG auf den horizontal gestellten Tisch H des Polarisationsinstrumentes Fig. 243, und untersucht man den hindurchgegangenen Lichtstrahl mittelst eines der auf den Ring F gehörenden Prüfungsapparate, so findet man ihn, wenn die Reflexionsebene DEFG des Parallelepipeds der Reflexionsebene des untern Polarisationsspiegels C parallel steht, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped, nämlich in dieser Reflexionsebene polarisirt. Dreht man nun das Parallelepiped ein wenig um eine verticale Axe, so ist der Zustand der vollkommenen Polarisation des Lichtes gestört; man bringt es, bei Anwendung des achromatisirten Doppelspathprisma's nicht mehr zur früheren Dunkelheit eines der beiden Bilder; das ungewöhnliche Bild, dessen Intensität im vorigen Falle auf Null reducirt wurde, wenn die Hauptschnittsebene des Doppelspathes mit der Polarisationsebene des untern Spiegels zusammenfiel, erlangt jetzt seine geringste Intensität, wenn diese Hauptschnittsebene mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds übereinstimmt. Dreht man das Parallelepiped wieder ein wenig, so zeigt sich eine ähnliche Erscheinung, nur ist das Bild im Minimum seiner Intensität noch weniger dunkel als früher. Hat man dem Parallelepiped eine solche Stellung gegeben, daß die Reflexionsebene desselben mit jener des Spiegels einen Winkel von 45° macht, so hört jede Aenderung der Lichtstärke der Bilder bei den verschiedenen Stellungen des Doppelspathes auf; der Strahl scheint jede Spur von Polarisation verloren zu haben, d. i. in den Zustand des gemeinen Lichtes zurückgekehrt zu seyn. Bei weiterem Drehen des Parallelepipeds erscheinen wieder Intensitätsänderungen der beiden

Bilder, nur ist jetzt das gewöhnliche Bild jenes, dessen Intensität am geringsten ausfällt, wenn der Hauptschnitt des Doppelspathes mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds parallel steht. Ist endlich diese Ebene um 90° aus ihrer anfänglichen Position gedreht worden, so besitzt der aus dem Parallelepiped kommende Strahl wieder vollkommene Polarisation, und seine Polarisationsrichtung ist dieselbe, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped. Daß der bei diesen verschiedenen Stellungen des Parallelepipeds sich ergebende Strahl von einem gemeinen, mehr oder minder unvollkommen polarisirten, wesentlich verschieden sey, zeigt sich sogleich, wenn man ihn in einem zweiten, dem ersteren gleichen Parallelepiped abermals zwei totale Reflexionen erleiden läßt, wobei er sich ganz anders verhält, wie gemeines theilweise polarisirtes Licht. Stellt man nämlich die Reflexionsebenen beider Parallelepipede einander parallel, so erhält man den aus dem ersten heraustretenden Strahl nach der Einwirkung des zweiten wieder in polarisirtem Zustande, nur zeigt sich seine Polarisationsebene von der anfänglichen um das Doppelte des Winkels abgelenkt, den die gemeinschaftliche Reflexionsebene der Parallelepipede mit jener des Polarisationsspiegels macht. Stellt man aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds gegen die des ersten senkrecht, so erlangt der Strahl, welche Stellung sonst die Parallelepipede haben mögen, seine ursprüngliche Polarisationsrichtung zurück. Was insbesondere den Fall betrifft, wenn das erste Parallelepiped gegen die Reflexionsebene des Spiegels um 45° verschoben ist, so verwandelt sich das dadurch scheinbar entpolarisirte Licht bei jeder Stellung des zweiten Parallelepipeds in vollkommen polarisirtes Licht, und seine Polarisationsebene macht stets mit der Reflexionsebene des letztern Parallelepipeds einen Winkel von 45°, ein Verhalten, das von dem des gemeinen unpolarisirten Lichtes weit entfernt ist. Man nennt, nach Fresnel's Vorgang, das durch totale Reflexion eines polarisirten Strahles so modificirte Licht, daß es mittelst eines Doppelspathes, bei jeder Stellung seines Hauptschnittes, zwei Bilder von gleicher Intensität liefert, circular polarisirt, eine Benennung, die sich auf später aus einander zu setzende theoretische Ansichten über die Natur dieses Lichtes gründet. Das auf demselben Wege erhaltene Licht, welches bei der Analyse mittelst des Doppelspathes zwar immer zwei Bilder, aber von wechselnder Intensität liefert, heißt elliptisch polarisirt. Ein polarisirter Lichtstrahl, in dem bisher gebrauchten Sinne dieser Benennung, wird zum Unterschiede von den so eben erklärten Polarisationsarten, ein geradlinig polarisirter genannt.

129. Das polarisirte Licht kann, wie Brewster entdeckt hat, auch durch Reflexion von einer polirten Metallplatte in den Zustand der elliptischen Polarisation versetzt werden. Wird z. B. ein geradlinig polarisirter Strahl von einer polirten Stahlplatte unter einem Winkel von 75° reflectirt, in einer Ebene, die um 45° gegen die Polarisationsebene geneigt ist; so erscheint derselbe nicht mehr polarisirt, denn er gibt bei der Analyse mit einem Doppelspathe stets zwei Bil-

der, oder was dasselbe ist, er wird von der Untersuchungsplatte des Polarisationsinstrumentes, bei jeder Lage der Einfallsebene gegen die ursprüngliche Reflexionsebene, reflectirt; er ist auch kein natürlicher und kein unvollkommen polarisirter Strahl, denn er erscheint nach einer abermaligen Reflexion an einer zweiten Stahlplatte unter 75°, bei dem Winkel von 45° zwischen der Reflexionsebene und der ursprünglichen Polarisationsebene, geradlinig polarisirt, und die neue Polarisationsebene macht mit der früheren einen Winkel von 17°. Brewster nennt einen solchen Strahl, der durch eine neue Reflexion wieder geradlinig polarisirt wird, vollkommen elliptisch polarisirt. Daß aber ein von einer Metallfläche reflectirter, ursprünglich geradlinig polarisirter Strahl ein elliptisch polarisirter im oben (128) gebrauchten Sinne des Wortes sey, lehrt sein Verhalten nach zwei totalen Reflexionen in Fresnel's Parallelepiped, so wie umgekehrt ein aus diesem Parallelepiped heraustretender ursprünglich geradlinig polarisirter Strahl sich bei Reflexionen an Metallflächen wie ein durch Metallflächen selbst modificirter Strahl verhält. Auch ein circular polarisirter Strahl wird nicht bloß durch fernere totale Reflexionen in Glas, sondern gleichfalls durch eine oder mehrere Reflexionen von Metallflächen auf den geradlinigen Polarisationszustand zurückgeführt, wenn die Einfallswinkel bei diesen Metallflächen kleiner sind als der Winkel der vollkommen elliptischen Polarisation, und alle Reflexionsebenen einander parallel sind. Es werden daher in der That Reflexionen von Glas durch Reflexionen von Metall vertreten.

Der Neigungswinkel der neuen Polarisationsebene gegen die ursprüngliche ist immer das arithmetische Mittel aus den zwei Wirkungen, derjenigen, welche der doppelten totalen Reflexion im Glase und derjenigen, die der Reflexion am Metalle entspricht. Erfolgen die totalen Reflexionen bei 54° und die Reflexion auf Stahl bei 75°, so beträgt die Neigung der Polarisationsebene des wieder hergestellten Strahles gegen die Reflexionsebene 30½°, und man hat auch $\frac{45+17}{2} = 31°$, wo 45° die Versetzung der Polarisationsebene durch Glas, 17° jene durch Stahl bezeichnet.

130. Damit ein polarisirter Strahl vollkommen elliptisch polarisirt werde, muß er von einem regulinischen oder vererzten Metalle bei einer bestimmten Stellung der Einfallsebene gegen die Polarisationsebene unter einem gewissen Winkel reflectirt werden, der, wie jener in 124 erwähnte, Polarisationswinkel genannt werden kann. Ist die Reflexionsebene mit der ursprünglichen Polarisationsebene weder parallel noch auf ihr senkrecht, so tritt schon eine elliptisch polarisirende Wirkung ein, aber vollkommen ist dieselbe im Sinne Brewster's erst, wenn die Neigung dieser zwei Ebenen 45°, 135°, 225° oder 315° beträgt. Bei einer Veränderung dieses Winkels von 0°—360° erreicht sie viermal ihre vollkommenste Entwicklung, wird viermal = 0 und nimmt eben so oft ab und zu. Der Polarisationswinkel beträgt für Stahl 75°, für Silber 73°, für Zink 72½°, für Spiegelmetall 76°.

Erfolgt diese Reflexion unter einem anderen Winkel, so tritt nur eine partielle elliptische Polarisation ein.

131. Zur Wiederherstellung des ursprünglich geradlinigen Polarisationszustandes eines elliptisch polarisirten Strahls durch Reflexion, gehört ein gewisses Verhältniß zwischen dem Einfallswinkel α dieses Strahls auf die wiederherstellende Metallplatte und dem Neigungswinkel φ der Einfallsebene auf diese Platte gegen die ursprüngliche Polarisationsebene. Die Lage der Polarisationsebene des wieder hergestellten Strahls richtet sich nach der Natur des reflectirenden Körpers und nach dem Winkel φ. Es ist klar, daß ein Strahl, der durch eine Reflexion elliptisch, durch eine zweite wieder geradlinig polarisirt worden ist, unter den gehörigen Bedingungen durch eine dritte Reflexion wieder elliptisch, durch eine vierte abermals geradlinig polarisirt werden müsse, es nimmt aber die Neigung der Polarisationsebenen des wieder hergestellten Strahls gegen die Reflexionsebene mit jeder neuen Wiederherstellung ab, und wird zuletzt $= 0$, d. h. es wird zuletzt alles Licht in der ursprünglichen Polarisationsebene polarisirt.

Der Erfahrung gemäß hat man

$\alpha = 80°$ für $\varphi = 0°$ oder $180°$
$\alpha = 75$ » $\varphi = 45$ » 135 oder 225 oder 360
$\alpha = 70$ » $\varphi = 90$ » 180

Die Neigung ψ der Polarisationsebene des restituirten Lichtes gegen die Reflexionsebene ist für $\varphi = 45°$ bei Silber 39° 48', bei Kupfer 29°, bei Quecksilber 26°, bei Platin 22°, bei Stahl 17°, bei Blei 11°, bei Eisenglanz $= 0$, überhaupt stets kleiner als 45°. Wird φ größer als 45°, so entfernt sich die Polarisationsebene des wiederhergestellten Strahls von der Reflexionsebene (d. h. es wächst ψ), während das Gegentheil Statt hat, wenn φ kleiner als 45° wird. Für $\varphi = 0°$ wird $\psi = 0°$, für $\varphi = 90°$ hingegen ist $\psi = 180°$.

132. Natürliches Licht läßt sich als solches ansehen, das aus zwei unter einem rechten Winkel polarisirten Hälften besteht, für deren eine $\varphi = +45°$, für die andere aber $\varphi = -45°$ ist. Fällt ein solches Licht unter dem Winkel der vollkommenen elliptischen Polarisation hinter einander auf Metallplatten auf, so erhält man nach zwei Reflexionen zwei Strahlen, die geradlinig und entgegengesetzt polarisirt sind, deren Polarisationsebenen mit der Reflexionsebene kleinere Winkel machen als 45°; der Strahl ist daher zum Theile oder unvollkommen polarisirt. Nach zwei neuen Reflexionen erhält man zwei Hälften, deren Polarisationsebenen einander noch näher liegen, bis sie endlich nach einer gewissen Anzahl von Reflexionen in ihren Polarisationsrichtungen zusammenfallen, und daher das Licht vollkommen geradlinig polarisirt ist. Auf solche Weise kommt es, daß ein Körper, der bei einer Reflexion einen Strahl durchaus nicht vollkommen zu polarisiren vermag, dieses durch mehrere Reflexionen zu leisten im Stande ist. So polarisirt Stahl unter 75° durch acht Reflexionen, Silber unter 73° noch nicht vollkommen durch sechs und dreißig Reflexionen. Daß bei so oft wiederholten Reflexionen verschiedene Farben zum Vor-

scheine kommen, rührt davon her, daß der Winkel der vollkommenen elliptischen Polarisation für verschiedenfarbige Strahlen einen verschiedenen Werth hat.

133. Daß doppelt brechende Substanzen auf polarisirtes Licht, hinsichtlich der Intensität der beiden Bilder anders einwirken, wie auf unpolarisirtes, ist bereits gesagt worden. Wird aber das durch eine solche Substanz hindurchgeleitete ursprünglich polarisirte Licht, ehe es in das Auge kommt, von einem der Untersuchungsapparate des Polarisationsinstrumentes aufgenommen, so findet man es nach Maßgabe der Lage und Dicke des Plättchens geradlinig, circular oder elliptisch polarisirt, und es ist dieß gleichfalls ein sehr brauchbares Mittel sich circular oder elliptisch polarisirtes Licht zu verschaffen. Vorzüglich eignet sich hiezu Glimmer, dem man durch Spalten leicht die erforderliche Dicke geben kann. Auch zeigen sich unter ähnlichen Umständen, bei Anwendung weißen Lichtes, in Folge einer verschiedenen Einwirkung auf dessen Bestandtheile, eigenthümliche Farbenerscheinungen. Legt man ein nicht zu dickes Plättchen Glimmer oder Gips auf den Tisch H des Polarisationsinstrumentes, Fig. 243, läßt das Licht, welches durch den Spiegel polarisirt und im Plättchen doppelt gebrochen worden ist, auf das Glas in G fallen, und entweder das durchgelassene oder das reflectirte ins Auge kommen, so erscheint das Plättchen farbig. Die Farbe, welche man da wahrnimmt, richtet sich nach der Natur und Dicke des Plättchens. Ueber eine gewisse Dicke hinaus findet aber keine Färbung desselben Statt. Neigt man das Plättchen gegen das einfallende Licht, damit dieses schief durch das Plättchen gehe, so ändert sich die Farbe, als wäre das Plättchen dicker geworden. Dreht man das Plättchen um das einfallende Licht (wozu der Tisch H eigens eingerichtet ist), so ändert sich nicht die Beschaffenheit, wohl aber die Intensität der Farbe, und es gibt vier Lagen des Plättchens, wo die Farben am intensivsten, und vier andere, wo sie am schwächsten (= o) sind. Ersteres da, wo der Hauptschnitt des Plättchens mit der ursprünglichen Polarisationsebene 45° macht, letzteres, wo dieser Winkel o oder 90° ist. Die Farbe des Plättchens im durchgelassenen Lichte ist stets die complementäre zu der im reflectirten, oder es geht die Farbe des Plättchens in die complementäre über, wenn man den Spiegel, ohne den Einfallswinkel des Lichtes zu ändern, um 90° dreht. Wendet man statt des Glases G einen Doppelspath an, so sieht man zwei farbige Bilder auf einmal, und ihre Farben ergänzen sich da, wo sie sich decken, zu Weiß.

Die Beständigkeit der Farbe eines Glimmerplättchens von bestimmter Dicke im polarisirten Lichte, und die mit der Neigung desselben gegen den einfallenden Strahl durch alle Zwischenstufen erfolgende Farbenänderung geben ein gutes Mittel zur Construction eines **Farbenmessers**. Einen solchen kann schon das Polarisationsinstrument (Fig. 243) abgeben, wenn man den Tisch H so einrichtet, daß man ihn unter verschiedenen Winkeln gegen den durchgehenden Strahl neigen, und den jedesmaligen Neigungswinkel messen kann. — In die Reihe dieser Farbenerscheinungen gehören auch diejenigen, welche Kry-

stalle im polarisirten Lichte darbieten, die, von zwei Seiten angesehen, auch zwei verschiedene Farben zeigen, wie z. B. Beryll. Schneidet man von der bläulich grünen Varietät dieses Minerals ein dreiseitiges Prisma, damit die durch doppelte Brechung entstandenen Strahlenbüschel hinreichend von einander getrennt erscheinen, und läßt weißes polarisirtes Licht darauf fallen; so gehen bloß blaue Strahlen durch, wenn die Axe des Krystalls auf der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes senkrecht steht, hingegen grünlich weiße, wenn die Axe mit dieser Ebene parallel ist. Dreht man das Prisma allmählig von der ersten Lage in die zweite, so geht auch das durchgelassene Licht successiv von Blau in Grünlichweiß über. Ein ähnliches Verhalten bemerkte Brewster, dem wir die Kenntniß dieser Erscheinung überhaupt verdanken, am Zirkon, Saphyr, Smaragd, Amethist, Turmalin rc.

134. Besonders merkwürdig sind die schönen Farbenphänomene, die sich in doppelt brechenden, senkrecht auf die Brechungsaxe geschnittenen Plättchen im polarisirten Lichte zeigen. Leitet man auf ein solches gleichförmig dickes Plättchen MN (Fig. 248) aus Doppelspath, einen convergirenden, geradlinig polarisirten Strahlenkegel ACB, dessen Axe CD mit der des Krystalls parallel ist, und läßt ihn hierauf unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation auf eine Glasplatte einfallen, damit er durch sie entweder reflectirt oder gebrochen werde; so sieht man das Plättchen mit farbigen concentrischen Ringen geziert, die durch ein Kreuz unterbrochen erscheinen. Dieses Kreuz ist rechtwinkelig und im reflectirten Lichte schwarz (Fig. 249), wenn die Einfallsebene der Strahlen auf die Glasplatte auf der Polarisationsebene senkrecht steht; hingegen weiß (Fig. 250), wenn jene Einfallsebene mit der Polarisationsebene parallel ist; im gebrochenen Lichte findet das Gegentheil Statt. Aehnliche Ringe bemerkt man an solchen Plättchen von anderen einaxigen Krystallen, z. B. von Beryll, Turmalin rc., nur erscheinen die Farben bei verschiedenen, wenn auch gleich dicken Plättchen von verschiedener Größe, und das Kreuz ist bald mehr bald minder deutlich zu sehen; bei einigen Plättchen, wie z. B. bei denen von Apophyllit oder unterschwefelsaurem Kalke, weicht die Farbenfolge von der in den gewöhnlichen Fällen Statt findenden stark ab. Vollkommen homogene Plättchen kann man um ihre eigene Axe drehen, ohne daß dadurch eine Aenderung der Ringe oder des Kreuzes bemerklich würde, aber der kleinste Mangel an Homogeneität offenbart sich durch eine Verzerrung der Ringe oder durch eine Biegung der Arme des Kreuzes. Bei demselben Plättchen erscheint ein Ring desto größer, je dünner die Platte ist, und zwar wachsen die Ringdurchmesser verkehrt wie die Quadratwurzeln der Plättchendicke. Schief gegen die Axe der doppelten Brechung geschnittene Plättchen zeigen ovale Ringe. An Plättchen aus zweiaxigen Krystallen erscheint das Phänomen dieser Farbenringe ganz verschieden. Ist ein solches Plättchen senkrecht auf die Linie geschnitten, welche den Winkel beider Axen halbirt und in ihrer Ebene liegt, so sieht man die Ringe, wie Fig. 251, falls die beiden Axen einen sehr kleinen Winkel einschließen, so daß man ihre Pole, die den Mittelpunkten der Ringe entsprechen, zugleich im

Gesichtsfelde hat, und die ursprüngliche Polarisationsebene mit der Ebene der zwei Axen zusammenfällt. Machen diese Axen einen größeren Winkel, wie z. B. bei Plättchen aus Salpeter, so erscheinen die Ringe, wie Fig. 252 zeigt, wenn die Polarisationsebene die vorher angegebene Lage hat; dreht man das Plättchen um $22^{\circ 1}/_2$; so nehmen die Ringe die Gestalt Fig. 253, bei einer Drehung von 45° die Gestalt Fig. 254 an, und dieselben Veränderungen erleiden sie bei jeder fernern Drehung von 45°. Bei Plättchen aus Krystallen, deren Axen einen gar großen Winkel einschließen, wie z. B. aus Arragonit, erscheint gar nur ein Phänomen, wie es Fig. 255 darstellt. Diese Erscheinungen ändern sich, wenn man statt des geradlinig polarisirten Lichtes circular oder elliptisch polarisirtes anwendet. Wird z. B. ein senkrecht gegen die Krystallaxe geschnittenes Plättchen aus Kalkspath polarisirtem Lichte ausgesetzt, das vorher durch ein Fresnel'sches Parallelepiped gegangen ist, dessen Reflexionsebene mit der Polarisationsebene des Lichtes einen Winkel von 45° macht, so verschwindet das schwarze Kreuz, und die Ringe erscheinen, wie Fig. 256 zeigt, in vier Quadranten getheilt, die abwechselnd um eine halbe Ringbreite gegen den Mittelpunkt vor- und zurückgeschoben sind. Durch Drehen des Untersuchungsapparates werden bloß die Theilungslinien der Quadranten gedreht, sonst aber an der Figur nichts geändert. Wendet man das Parallelepiped gegen die andere Seite der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes, so daß es wieder mit dieser den Winkel von 45° macht, so verändert sich die Erscheinung bloß im Verhältnisse von Rechts zu Links. Plättchen aus zweiaxigen Krystallen verhalten sich auf analoge Weise. Läßt man das circular polarisirt in ein Kalkspathplättchen, wie vorhin, einfallende Licht, ehe es zum Untersuchungsapparate kommt, noch einmal durch ein mit dem ersteren übereinstimmend gestelltes Fresnel'sches Parallelepiped gehen, so erhält man bei den Hauptstellungen des Untersuchungsapparates wieder Kreise, jedoch ohne Kreuz und mit einem dunklen oder lichten Fleck im Mittelpunkte. In homogenem Lichte sieht man in allen diesen Fällen sehr zahlreiche Ringe von der Farbe des angewendeten Lichtes, die durch dunkle Zwischenräume unterbrochen sind. Die Durchmesser der Ringe sind für verschiedene Farben verschieden, und zwar nehmen sie von der rothen Farbe des Spectrums gegen die violette hin ab, ein Umstand, welcher lehrt, daß das Phänomen im weißen Lichte bloß das Resultat des gleichzeitigen Eintretens und der Uebereinanderlagerung der Erscheinungen ist, die den verschieden brechbaren Bestandtheilen des weißen Lichtes angehören.

Um diese Erscheinung rein hervorbringen und bequem beobachten zu können, leite man Tages- oder Lampenlicht (wenn man homogenes Licht anwenden will, das einer Weingeistlampe mit starkem und in Kochsalzauflösung getränkten oder mit Kochsalz bestreutem Dochte) auf den Spiegel C des Polarisationsinstrumentes, bringe das Krystallplättchen nahe an den Ring F, setze unter dasselbe eine Sammellinse, so daß sich das Plättchen in ihrer Brennweite befindet, und sehe durch die gehörig gestellten Gläser G oder durch einen gleichgeltenden Apparat,

z. B. ein Turmalinplättchen oder ein Nicol'sches Prisma auf das Plättchen herab. Circulares Licht verschafft man sich leicht durch Einschaltung eines passenden Glimmerplättchens zwischen den Polarisationsspiegel und das Krystallplättchen. Man kann den Untersuchungsapparat mit Vortheil nach Airy geeignet machen, auch am kleinsten Krystallplättchen eine bedeutende Zahl von Ringen wahrzunehmen, wenn man die vom Krystalle divergirend ausgehenden Strahlen mit einer Sammellinse aufnimmt, die selbe parallel macht und einer zweiten Sammellinse zusendet, in deren Brennpunkt sich das mit einem Turmalinplättchen oder Nicol'schen Prisma bewaffnete Auge befindet, wenn man nicht zwischen beide Linsen einen geschwärzten Spiegel einschalten will. Ein anderes Ocular hat Dove angegeben. (Pogg. Ann. 35. 596.) Noch leichter gelangt man zum Zweck, wenn man Turmalinplättchen, die parallel mit der Axe geschnitten sind, so legt, daß ihre Axen sich durchkreuzen, oder zwei Nicol'sche Prismen anwendet, das Plättchen zwischen sie gibt, und den ganzen Apparat nahe ans Auge hält. Um das Phänomen mehreren Personen zugleich und mit lebhafter Lichtintensität sichtbar zu machen, kann man diese Vorrichtung auch vor die Beleuchtungslinsen eines Sonnen- oder Gasmikroskopes setzen, dessen mikroskopische Linsen man entfernt hat, und das Bild auf einer weißen Tafel auffangen. Bei hinreichendem Lichte läßt sich durch Entfernung der Tafel eine bedeutende Vergrößerung erzielen. (Nach Marx sollen sich die Turmalinplatten auch durch Platten von Dichroit, welche man durch einen parallel mit der optischen Axe des Krystalls geführten Schnitt erhält, ersetzen lassen.) Auch Nörrenberg's Einrichtung des Polarisationsinstrumentes gestattet eine bequeme Beobachtung der Farbenringe im geradlinig polarisirten Lichte, wenn man das Krystallplättchen auf den horizontalen Spiegel legt, und darüber in angemessener Entfernung eine Sammellinse anbringt, auf welche man aus der Sehweite herabsieht. Diese Beobachtungsweise eignet sich besonders für diejenigen Fälle, in welchen die Ringe groß ausfallen, wenn man sie auf die gewöhnliche Weise betrachten will, mithin nicht gut übersehen werden können. Mit Hülfe des Spiegels wirkt ein Krystallplättchen so, als ob seine Dicke verdoppelt wäre.

135. Ein von den übrigen einaxigen Krystallen gänzlich abweichendes Verhalten im polarisirten Lichte zeigt der Bergkrystall. An einem senkrecht gegen die Axe geschnittenen Plättchen aus diesem Körper erscheint bei der oben beschriebenen Beobachtungsweise kein dunkles Kreuz, sondern höchstens Spuren davon an den äußern Farbenringen. In der Mitte aber bemerkt man einen farbigen Fleck, dessen Farbe bei der Drehung der Polarisationsebene des Untersuchungsapparates wechselt. Untersucht man die Erscheinung im gleichfarbigen Lichte, so ergibt sich eine eigenthümliche Einwirkung des Plättchens auf das parallel mit seiner optischen Axe, d. h. senkrecht auf seine Flächen hindurchgeleitete geradlinig polarisirte Licht. Es kommt nämlich dieses Licht wohl wieder im Zustande der geradlinigen Polarisation aus dem Plättchen, aber seine Polarisationsebene ist gegen die ursprüngliche um einen gewissen von der Dicke des Plättchens abhängenden Winkel gedreht, und es ist der Drehungswinkel bei gleicher Dicke für Strahlen von verschiedener Farbe ein anderer. Hieraus wird der Farbenwechsel bei Anwendung weißen Lichtes begreiflich. Höchst inte-

ressant ist der Umstand, daß bei Plättchen von gleicher Dicke die Drehung der Polarisationsebene einer jeden Lichtsorte in verschiedenem Sinne erfolgen kann, nämlich Plättchen aus gewissen Bergkrystall-Individuen rechts drehend, aus anderen links drehend wirken, und daß schon der bloße Anblick der Krystallgestalt des Individuums, aus welchem das Plättchen genommen wird, an besonders gelagerten trapezförmigen Flächen, die sich häufig nächst den Combinationskanten des sechsseitigen Prisma's mit der Endpyramide vorfinden, und bald von rechts nach links, bald umgekehrt liegen, auf die Richtung der Drehung zu schließen gestattet. Legt man zwei Plättchen von gleicher Dicke, wovon eines rechts drehend, das andere links drehend auf die Polarisationsebene des Lichtes wirkt, über einander, so erblickt man im polarisirten Lichte die von Airy entdeckte, mit vier vom Mittelpunkte der Farbenringe auslaufenden Spiralen versehene Figur 257. (In Nörrenberg's Polarisationsvorrichtung genügt es, eine Quarzplatte auf den horizontalen Spiegel zu legen und eine Sammellinse darüber zu halten; das Bild derselben vertritt die Anwesenheit der zweiten entgegengesetzt drehenden von gleicher Dicke.) Ein Amethystkrystall kann zugleich rechts und links drehende Plättchen liefern. Eben so wie der Bergkrystall in Sinne seiner Axe, wirkt auch eine Säule von Terpentinöhl, Citronenöhl, eine Lösung von Zucker, Dextrin, jedoch ist der Drehungswinkel der Polarisationsebene verschieden nach Maßgabe der Natur der Substanz, ihrer Dicke, und der Brechbarkeit des Lichtes. So z. B. wird nach Biot die Polarisationsebene eines gewissen rothen Strahls (den mit Kupferoxyd gefärbtes Glas durchläßt) durch eine fünf Millimeter dicke Quarzplatte um 92°, durch eine eben so dicke Terpentinsäule um 14° 3, durch eine Citronenöhlschichte um 21° 8 gedreht. Terpentinöhl (im tropfbaren Zustande oder als Dampf), Lorbeeröhl, eine Lösung von Traubenzucker, der noch nicht fest war, drehen die Polarisationsebene zur Linken; Citronenöhl, eine Lösung von Traubenzucker, der schon fest war, Rohrzucker, Dextrin, Runkelrübensaft ꝛc. von der Linken zur Rechten, so daß man diese Eigenschaft zur Prüfung der Substanzen auf Zucker benützen kann.

136. Der innige Zusammenhang, welcher zwischen der Polarisation und doppelten Brechung Statt findet, läßt häufig von einer derselben auf die andere schließen, und da die doppelte Brechung mit dem Krystallisationszustande der Körper so genau zusammenhängt, so wird durch die Polarisation auch oft ein Schluß auf die Krystallform der Stoffe gerechtfertigt. Der kleinste Splitter eines doppelt brechenden Körpers polarisirt das Licht vollkommen, und die Polarisationsrichtung gestattet einen Schluß auf die Lage des Hauptschnittes. Die Farbenringe, welche solche Körper im polarisirten Lichte zeigen, geben Anzeigen über die Anzahl und Lage der Axen, über ihre Aenderung durch Druck, Erwärmung ꝛc. Körper, deren doppelte Brechung bekannt ist, werden mit Vortheil zur Bestimmung des Polarisationszustandes des Lichtes gebraucht.

Will man erfahren, ob ein Körper das Licht doppelt breche oder nicht, so gebe man ihn zwischen zwei Turmalinplättchen, wie sie früher beschrieben worden sind, deren Axen aber sich rechtwinkelig durchkreuzen (oder auch zwischen zwei Nicol'sche Prismen, die eben so gelegt sind). Diese erscheinen undurchsichtig, so lange sich gar nichts oder ein das Licht einfach brechender Körper zwischen ihnen befindet. Wie aber eine doppelt brechende Substanz dazwischen kommt, so werden sie augenblicklich durchsichtig oder wenigstens durchscheinend. Will man untersuchen, ob ein Strahl polarisirt sey oder nicht, so leite man ihn durch einen Doppelspath. Kann man beim Drehen desselben eine Lage finden, wo nur ein Bild entsteht, so ist der Strahl polarisirt; ja selbst wenn man keine solche Lage ausfindig machen kann, und zwei Bilder entstehen, so läßt sich aus der Gleichheit oder Verschiedenheit ihrer Intensität erkennen, ob der Strahl gar nicht, oder nur zum Theile polarisirt sey. Man kann die zur Entstehung polarisirter Farbenringe nöthigen Bedingungen dazu benützen, zu erforschen, ob die von der Luft und von Wolken reflectirten oder von leuchtenden Körpern verschiedener Art ausgehenden Strahlen polarisirt seyen oder nicht. Hierauf gründen sich die sogenannten Polariskope, dergleichen Arago, Biot, Savart angegeben haben. Wird nämlich an ein Turmalinplättchen, das parallel mit der Axe des Krystalls geschnitten ist, ein senkrecht auf die Axe geschnittenes Bergkrystallplättchen oder ein solches Doppelspathplättchen befestigt, so darf man nur ersteres nahe vor das Auge halten, und sehen, ob Farbenringe bemerklich sind oder nicht. Finden diese Statt, so muß offenbar das einfallende Licht polarisirt seyn. Die von Savart zu diesem Behufe angewendeten, der Axe parallel geschnittenen Bergkrystallplatten, mit gekreuzten Axen über einander gelegt und mit einem Turmalinplättchen versehen, dessen Axe den Winkel der ersteren halbirt, lassen bei der geringsten Spur von polarisirtem Licht geradlinige Streifen wahrnehmen, deren Richtung, wenn das Ganze in der Ebene der Plättchen so gedreht wird, daß dieselben in größter Intensität und mit einem schwarzen Mittelstreifen erscheinen, mit der Polarisationsrichtung des Lichtes übereinstimmt. Bei circular polarisirtem Lichte bleibt das Aussehen dieser Streifen stets dasselbe, wenn man das Polariskop um eine auf der Ebene der Plättchen senkrechte Axe dreht. Ueberhaupt sind die Erscheinungen, welche Krystallplättchen, die durch senkrecht auf die optische Axe geführte Schnitte entstehen, im polarisirten Lichte gewähren, besonders geeignet, um die Lage der Axen der doppelten Brechung auszumitteln, und bei solchen, welche zwei derlei Axen haben, den Neigungswinkel derselben zu bestimmen; denn die Ringe erscheinen bei einaxigen Plättchen nur dann kreisförmig, wenn die Axe des Strahlenkegels mit der Brechungsaxe des Krystalls parallel ist, und in solchen Plättchen, deren Axen wenig gegen einander geneigt sind, und demnach gegenseitig ihre Farbenringe modificiren, zeigen die zwei Mittelpunkte der ovalen Ringe die Pole der Brechungsaxen an. Leitet man durch ein solches Plättchen homogenes Licht, so erscheinen offenbar nur die demselben entsprechenden Ringe und auch die ihm entsprechende Axe. Vergleicht man ihre Lage in verschiedenem homogenen Lichte, bei verschiedenen Temperatursgraden etc.; so erfährt man, daß in solchen Krystallen jedem farbigen Strahle eine besondere Axe der doppelten Brechung entspreche, daß die Axen in einigen merklich von einander abweichen, in anderen nahe zusammenfallen, daß nicht alle derselben in einer Ebene liegen, kurz alles das, was (110) von den Brechungsaxen gesagt wurde. Merkwürdig ist die Aenderung der Lage der Axen bei dem Weißbleierz durch Erwärmung, welche man gut

wahrnimmt, wenn man eine Platte dieses Krystalls zwischen Turmalinplättchen vor den Beleuchtungsapparat eines Sonnenmikroskopes setzt. Die rasche Aenderung in dem auf eine weiße Tafel projicirten Farbenphänomen läßt ein Auseinanderweichen der Axen bei Erhöhung der Temperatur erkennen. Auch Anomalien in der Zusammensetzung krystallisirter Körper geben sich durch Verzerrung der Ringe zu erkennen. (Zeitsch. 1. 30; 7. 81. Pogg. Ann. 8. 520; 17. 1; 26. 302; 26. 308; 27. 480; 27. 504. Schweigg. Journ. 49. 167; 69. 140.) Man hat sogar die feineren materiellen Unterschiede vieler Substanzen aus ihrer doppelt brechenden und polarisirenden Eigenschaft zuerst erkannt, wiewohl diese Unterschiede so gering waren, daß man sie bei chemischen Analysen gar leicht übersehen konnte. So hielt man längere Zeit hindurch alle Körper, die unter dem Namen Glimmer vorkommen, für ganz gleichartig, bis Biot aus ihrem optischen Verhalten erklärte, daß es Glimmer mit einer und mit zwei Brechungsaxen gebe, und daß mancher abstoßend, ein anderer anziehend wirke, und dadurch die Chemiker veranlaßte, diese Körper einer genaueren Untersuchung zu unterwerfen, wobei sich zeigte, daß ihrem besonderen optischen Verhalten auch eine besondere materielle Beschaffenheit entspreche.

137. Seebeck und Brewster haben zuerst gelehrt, wie man einen Körper, der im polarisirten Lichte keine Farbe zeigt, dahin bringen könne, daß er den vorerwähnten ähnliche Farbenphänome hervorbringt. Hält man eine Platte von dickem Spiegelglase mit dem Rande an stark erhitztes Eisen, bringt das Ganze über den Tisch H des Polarisationsinstrumentes und sieht durch die Gläser G darauf herab; so bemerkt man, daß in der Glasplatte parallele Streifen (Fig. 257) entstehen, so wie sich die Wärme durch sie fortpflanzt. Die Farben dieser Streifen gehen alsogleich in die complementären über, wenn man das Glas G um 90° in derselben Neigung dreht, oder sie statt im durchgelassenen, im reflectirten Lichte ansieht; sie verlieren sich aber ganz, wenn sich die Wärme einmal gleichförmig in der ganzen Platte verbreitet hat. Es ist in Betreff der Farben einerlei, ob man eine einzige dicke Platte oder mehrere dünne nimmt, die zusammen jener an Dicke gleichen. Bekommt eine Platte während des Erwärmens einen Riß, so erscheinen in jedem Stücke die Farben abgesondert wie in einem Ganzen, verbindet man wieder beide Theile durch Kitt, so ist es, als wäre nie ein Bruch erfolgt. Nimmt man einen Glascylinder und erwärmt ihn von der Axe aus, indem man z. B. in eine daselbst angebrachte Vertiefung heißes Quecksilber gießt; so bilden sich concentrische Farbenringe mit einem rechtwinkeligen, dunklen Kreuze, wie Fig. 249. Dieselben Erscheinungen erfolgen, nur in Betreff der Farbenfolge in umgekehrter Ordnung, wenn man heißes Glas an kaltes Eisen anhält.

138. Nimmt man einen Glaswürfel, der im polarisirten Lichte keine besondere Farbe zeigt, gibt ihn in eine kleine Presse, drückt ihn mäßig zusammen, hält ihn ins Polarisationsinstrument, und sieht ihn durch das Glas G an; so bemerkt man eigene Farben, die mit der Stärke des Druckes sich ändern, in die complementäre übergehen,

wenn man die Einfallsebene in G um 90° ändert, aber wieder verschwinden, wenn der Druck nachläßt. Sehr regelmäßig stellt sich die Zeichnung dar, wenn die Presse den Würfel bloß an zwei einander gegenüber liegenden Stellen drückt. Aehnliche Erscheinungen bringt man auch durch Dehnen des Glases zu Stande. Biegt man einen Glasstreifen, so sieht man ihn an der schmalen Seite im polarisirten Lichte mit parallelen Farbenstreifen, die in der Mitte durch eine schwarze Linie verbunden sind. Eine senkrecht auf die Axe geschnittene, an zwei gegenüber liegenden Punkten der Seitenfläche gepreßte Quarzplatte, zeigt im polarisirten Lichte das Ringsystem eines zweiaxigen Krystalles.

139. Alle diese Farbenerscheinungen sind nur vorübergehend. Man kann sie aber bleibend machen, wenn man die durch ungleichförmige Erwärmung oder durch Druck hervorgebrachte ungleiche Anordnung der Theile eines Körpers fixirt. Dieses geschieht, wenn man heißes Glas schnell abkühlt. Bringt man dieses nach der Hand in polarisirtes Licht, wie die vorhin betrachteten Körper, so erscheint es mit besonderen farbigen Zeichnungen, deren Beschaffenheit von der Gestalt des Glaskörpers, von dessen schnellerem oder langsameren Abkühlen und von der Stellung gegen die Polarisationsebene abhängt. Ist dieser Körper ein Würfel, und ist er so ins Polarisationsinstrument (auf den Tisch H) gestellt, daß eine seiner Seitenflächen mit der Polarisationsebene in C parallel ist, während auch die Einfallsebene in G mit der in C zusammenfällt; so sieht man im durchgelassenen Lichte an den vier Ecken farbige Zeichnungen, wie Pfauenaugen, zwischen ihnen ein dunkles Kreuz, und nicht selten um dieses noch allerlei symmetrisch angeordnete, farbige Einfassungen (Fig. 258). Dreht man die Gläser in G um 90°, oder sieht man den Würfel im reflectirten Lichte an, so bemerkt man dieselbe Zeichnung mit complementären Farben: sie geht aber in eine andere recht gefällige Form über, wenn man den Würfel allein dreht, ohne das übrige zu ändern. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, aber nur vorübergehend, wenn man einen ungekühlten Glaswürfel in einen erhitzten Metallrahmen legt, worein er gerade paßt. Es ist daher durch das rasche Abkühlen der Zustand des Würfels, den er bei ungleicher Erwärmung von außen nach innen annimmt, fixirt worden. Mehrere schnell gekühlte, über einander gelegte, quadratische Glasplatten vertreten einen massiven Würfel vollkommen. Schleift man einen Würfel so, daß er die Gestalt Fig. 259 bekommt, so zeigt er auch die daselbst abgebildete Zeichnung. Eine längliche Glasplatte gibt die Fig. 260, ein Cylinder die Fig. 249. Aehnliche Erscheinungen bemerkte Seebeck an schnell entstandenen Krystallen von Borax, Kochsalz, in Gummistücken und in thierischen Substanzen, ja selbst im Diamante, sonst einem einfach brechenden Körper, will sie Brewster gesehen haben.

Zehntes Kapitel.

Beugung des Lichtes.

140. Man kennt schon seit geraumer Zeit Phänomene, welche zeigen, daß Lichtstrahlen, die an den Kanten eines Körpers vorbeigehen oder durch eine sehr kleine Oeffnung geleitet werden, eine Ablenkung von der geraden Bahn erleiden, und dabei in farbige Büschel zerlegt werden. Man heißt diese Modification des Lichtes, welche in neuerer Zeit sorgfältig untersucht worden ist, die **Beugung**.

Die erste Erscheinung dieser Art bemerkte **Grimaldi**, als er in ein verfinstertes Zimmer einen Lichtkegel eindringen ließ, einen feinen Draht darein hielt, dessen Schatten in einer gewissen Entfernung davon maß, und ihn viel breiter fand, als er, in Folge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes, nach seiner Entfernung vom Drahte hätte seyn sollen. Er bemerkte zugleich, daß der Schatten beiderseits von Farbensäumen begrenzt sey.

141. Die Phänomene der Beugung sind mannigfaltig; sie lassen sich auf verschiedene Arten hervorbringen und beobachten. Sie zeigen sich, wenn Licht, das von einem leuchtenden Punkte, oder, nach Erforderniß, von einer leuchtenden Linie kommt, entweder an Einem Rande eines breiteren Körpers, oder an beiden Rändern eines schmalen Streifens vorbeigeht, oder durch eine oder mehrere in einem undurchsichtigen Schirme angebrachte kleine Oeffnungen oder Spalten hindurchdringt. Diese Oeffnungen lassen sich auch durch Linien ersetzen, die man auf Glas, welches mit einem undurchsichtigen Ueberzuge bekleidet, oder selbst ganz frei ist, radirt hat, und da wird nicht bloß das durchgehende, sondern auch das reflectirte Licht gebeugt, was auch geschieht, wenn sich die Linien auf einer undurchsichtigen Platte befinden. Die oben genannten Lichtquellen verschafft man sich am besten, wenn man Sonnenlicht mittelst eines Heliostats durch eine am Fensterladen angebrachte kleine Oeffnung oder enge Spalte in ein verfinstertes Zimmer leitet, und den Körper oder Schirm, der das Licht beugen soll, in die Richtung des einfallenden Strahlenbündels setzt. Dabei kann man in mehreren Fällen die Erscheinung unmittelbar auf einer weißen Tafel, mit der man das gebeugte Licht auffängt, deutlich wahrnehmen. Man kann sich aber auch einer Sammellinse bedienen, welche man um ihre Brennweite von dem Auge entfernt hält, und mit der man aus einer beliebigen Entfernung gegen den das Licht beugenden Gegenstand in der Richtung der gebeugten Strahlen hinsieht. Da nimmt man das Phänomen in vergrößertem Maßstabe so wahr, wie es sich auf einer in der Sehweite der Linse befindlichen Tafel zeigen müßte, vorausgesetzt, daß die Lichtstärke dazu hinreicht. Eine **Wilson**'sche Loupe (S. 305) eignet sich zu dieser Beobachtungsweise vorzüglich. Sind die Oeffnungen am Schirme, womit das Licht gebeugt wird, sehr fein, so genügt es, diesen dicht vor das Auge zu halten, und nach der Oeffnung, von welcher das Licht kommt, hinzusehen. Hiebei ist nicht einmal ein verfinstertes Zimmer nöthig,

sondern ein Schirm mit einer engen Oeffnung oder Spalte, der durch einen Spiegel Sonnenlicht zugesendet wird, leistet die erforderlichen Dienste. Als leuchtender Punkt läßt sich auch das Sonnenbildchen benützen, welches ein kleiner Convexspiegel liefert; als solcher dient eine gefüllte Thermometerkugel, ein geschwärztes Uhrglas, ein polirter Metallknopf u. dgl.; eine leuchtende Linie erhält man durch Spiegelung einer Glasröhre, einer Stricknadel u. dgl. im Sonnenlichte. In mehreren Fällen kann man auch Lampenlicht anwenden. Die Beugungsphänomene lassen sich auch bequem mit Mayer's Inflexioskop beobachten, einem Instrumente, das im Wesentlichen aus einem, das dunkle Zimmer ersetzenden Rohre besteht, in welches das Licht durch eine enge Oeffnung oder eine schmale Spalte an dem Deckel des einen Endes eintritt, und durch eine am entgegengesetzten Ende des Rohres befindliche Oeffnung, oder durch einen der Spalte parallelen Draht gebeugt wird. Das Auge befindet sich entweder gleich hinter der das Licht beugenden Oeffnung, oder, was besonders bei Anwendung eines Drahtes nöthig ist, hinter einer Sammellinse. Am vortheilhaftesten lassen sich aber die Erscheinungen wahrnehmen, welche durch die Beugung des Lichtes in einzelnen oder gitterförmig an einander gereihten Oeffnungen entstehen, wenn man, wie Fraunhofer bei den Versuchen, die unsere Kenntnisse in diesem Gebiete so sehr erweiterten, zuerst gethan hat, ein gutes Fernrohr zu Hülfe nimmt, das Ocular desselben so richtet, daß man die Lichtquelle (die Oeffnung oder Spalte am Fensterladen u. dgl.) deutlich sieht, und sodann die Platte, in der sich die das Licht beugenden Oeffnungen befinden, vor das Objectiv des Fernrohres setzt.

142. Bedient man sich der letzteren Methode als der vorzüglichsten, und läßt die von einer Lichtlinie kommenden Strahlen durch eine vor dem Objective des Fernrohres befindliche, dieser Linie parallele Spalte gehen, so sieht man in der Mitte des Gesichtsfeldes einen weißen Streifen a, Fig. 261, dessen Höhe so groß als die scheinbare Höhe der Lichtlinie, dessen Breite aber um so größer ist, je enger man die Spalte vor dem Fernrohre macht. Dieser Streifen ist gegen beide Enden zu gelb und zuletzt roth gefärbt; zu beiden Seiten desselben erblickt man eine Folge von Farbenbildern in übereinstimmender Anordnung, und zwar zunächst ein lebhaftes Farbenbild b, welches unmerklich in ein zweites minder intensives c, dann in ein drittes wieder schwächeres d übergeht u. s. f. An der der Mitte der ganzen Erscheinung zugekehrten Seite ist die Farbe jedes Bildes violett, dann folgt Blau, Grün und zuletzt Roth, man erkennt aber nur im ersten Farbenbilde alle sechs Farben, beim zweiten fehlt Violett, beim dritten Violett und Blau ꝛc. Ein am Ocularglase des Fernrohrs angebrachtes kleines Prisma, dessen Axe horizontal stehen muß, wenn die Oeffnung des Schirmes vertical ist, zeigt, daß die der Axe nahen Farbenbilder nicht aus homogenem Lichte bestehen, daß es aber die weiter von der Axe entfernten allmälig werden. Je kleiner die Oeffnung am Schirme ist, desto mehr rücken die Farbenbilder aus der

Mitte des Gesichtsfeldes, und desto breiter werden sie, so, daß die Ablenkungswinkel des Lichtes stets der Breite der Oeffnung verkehrt proportionirt sind. Die Abstände bestimmter Strahlen in den auf einander folgenden Farbenbildern, z. B. der rothen wachsen zu beiden Seiten von der Mitte, wie die Glieder einer arithmetischen Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist. Die Breite der Oeffnung am Fenster, durch welche man das Licht einläßt, hat auf die Anordnung und Lage der einzelnen Farbenbilder keinen Einfluß, sie bestimmt aber die Reinheit und Deutlichkeit der Farben, weil der einfallende Lichtbüschel bei einer verticalen Spalte gleichsam aus verticalen Lichtlinien besteht, deren jede ihr Farbenbild gibt. Bei einer nur etwas breiten Oeffnung verursacht das Aufeinanderfallen mehrerer solchen Bilder eine Undeutlichkeit, daher es auch kommt, daß bei einer gewissen Größe der Spalte alle Farben verschwinden. — Fällt das Licht durch eine runde Oeffnung auf einen Schirm, der eine quadratförmige genau geradlinige Oeffnung mit scharfen Ecken hat; so wird es sowohl in horizontaler als verticaler Richtung gebeugt, und man sieht im Fernrohre ein farbiges Kreuz. Hat aber der Schirm eine kleine runde Oeffnung, so erscheinen farbige Ringe. Ist die Oeffnung des Schirmes ringförmig, so erscheinen ebenfalls Ringe, aber ihr Durchmesser und deren Verhältniß zu einander ist verschieden von dem im vorhergehenden Falle, übrigens aber nur von der Breite der Oeffnung, nicht vom Durchmesser des Ringes abhängig.

143. Ist das gebeugte Licht gleichartig, so erscheinen statt der Farbenbilder, die sich im vollen Sonnenlichte zeigen, Streifen von der Farbe des durchgelassenen Lichtes, welche durch völlig dunkle Schattenräume von einander getrennt sind. Jedoch ist die Intensität des farbigen Lichtes und der dunkeln Stellen nicht allenthalben gleich, sondern es gibt in jedem Farbenstreifen eine am stärksten beleuchtete Linie, von der zu beiden Seiten die Lichtstärke allmälig abnimmt, und ins völlige Schwarz übergeht. Je mehr sich diese Streifen von der Mitte entfernen, desto schwächer werden sie, bis sie endlich ganz undeutlich und unsichtbar werden. Die Farbenstreifen sind im violetten Lichte schmäler als im blauen, in diesem schmäler als im grünen und so fort bis zum rothen. Hierdurch wird das Farbenspiel des Beugungsphänomens im weißen Licht begreiflich; es ist das Resultat des gleichzeitigen Vorhandenseyns der den einzelnen Lichtsorten, welche das weiße Licht zusammensetzen, entsprechenden Erscheinungen. Entfernt man die Tafel, worauf man diese Farbenstreifen auffängt, oder die Sammellinse mehr von der Spalte; so rücken diese Streifen auch mehr aus einander. Vergleicht man zwei oder mehrere Punkte der Tafel, welche in verschiedenen Entfernungen von einerlei Lichtstreifen getroffen werden; so findet man, daß der gebeugte Strahl nicht geradlinig von der Spalte ausgehe, sondern eine hyperbolische Krümmung habe. Man kann sich hierbei überzeugen, daß die Natur des Körpes, in welchem sich die das Licht beugende Oeffnung befindet, so wie die Gestalt desselben auf die Beschaffenheit und relative Folge der Farbenstreifen gar

keinen Einfluß habe. Die Schneide und der Rücken eines Rasirmessers, ein geschwärzter und ein polirter Draht, und Körper vom verschiedensten Brechungsvermögen gewähren dieselben Phänomene der Beugung, und alles hängt nur von der mathematischen Begrenzung der Oeffnung oder des beugenden Körpers, nicht von der Natur des Schirmes ab. Uebrigens werden nicht bloß die nächsten am Rande der Spalte vorbeigehenden Strahlen gebeugt, sondern auch die merklich davon entfernten.

144. Stellt man vor das Objectiv des Fernrohres, auf welches weißes Licht fällt, einen Schirm mit zwei gleichen schmalen einander nahen Oeffnungen, so sieht man Spectra, welche denen ganz ähnlich sind, die eine einzelne dieser Oeffnungen für sich geben würde; aber in der Mitte des Gesichtsfeldes (vorausgesetzt, daß die Axe des Fernrohres gegen die Spalte am Fenster gerichtet ist) finden sich statt des weißen Streifens, den Eine der Oeffnungen gegeben hätte, schmale Farbenbilder vor, durch welche dieser Streifen getheilt wird; die Mittellinie des Gesichtsfeldes nimmt ein weißer Streifen ein. Wendet man einen Schirm mit drei Oeffnungen an, so entstehen zwischen den so eben erwähnten Farbenbildern in der Mitte des Gesichtsfeldes neue, deren Zahl sich vermehrt, während sie an Breite abnehmen, wenn man einen Schirm mit vier, fünf Spaltöffnungen u. s. w. vor das Objectiv bringt. Hiebei ändern sich die äußeren Farbenbilder nur wenig. Um diese Erscheinungen wahrzunehmen, bediene man sich eines Gitters mit vielen gleichen parallelen Zwischenräumen, setze vor dasselbe einen Schirm mit einer Spalte, die sich erweitern läßt, und gestatte so allmälig dem Lichte durch mehrere dieser Spaltöffnungen den Eingang in das Fernrohr. Tritt eine große Anzahl Oeffnungen in Wirksamkeit, so werden der letzteren Farbenbilder so viele, und sie selbst so schmal, daß sie zuletzt kaum merklich sind, und der weiße Streifen in der Mitte des Gesichtsfeldes gestaltet sich immer mehr zum Bilde der Oeffnung am Fensterladen. Man hat daher, wenn Strahlen durch eine geringe Anzahl von gleichen parallelen Spaltöffnungen ins Fernrohr kommen, dreierlei Spectra zu unterscheiden, *äußere*, oder nach *Fraunhofer*, *Spectra der ersten Classe*, die schon bei einer einzigen beugenden Spaltöffnung vorhanden sind; *mittlere* oder *Spectra der zweiten Classe*, die bei Anwendung von zwei Spaltöffnungen eintreten und bei wachsender Anzahl der Oeffnungen sich forterhalten; *innere* oder *Spectra der dritten Classe*, die erst bei drei Spaltöffnungen entstehen, und bei wachsender Anzahl der Oeffnungen sich vervielfältigen und weniger merklich werden. Aus genauen Messungen folgt: 1) Bei einem und demselben Gitter, aber einer verschiedenen Anzahl Oeffnungen verhalten sich die Abstände derselben unvollkommenen Farbenbilder von der Axe umgekehrt, wie die Anzahl der gebeugten Strahlen. 2) Bei verschiedenen Gittern und einer gleichen Anzahl Zwischenräume wachsen die Abstände derselben Farbenbilder von der Axe, wie verkehrt die Entfernungen der Mitte zweier Zwischenräume. 3) Die Abstände der einzelnen Farben-

bildes von der Axe wachsen, wie die Glieder einer arithmetischen Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist.

145. Macht man diesen Versuch mit homogenem Lichte, so sieht man die von diesem Lichte herrührenden Antheile der Spectra der zweiten Classe sich bei wachsender Anzahl der Oeffnungen nicht bloß in der Mitte des Gesichtsfeldes, sondern auch an den übrigen Orten zu Bildern der Oeffnung am Fensterladen gestalten, zwischen welchen sich die dem gewählten Lichte entsprechenden Antheile der Spectra der dritten Classe zeigen, die also auch nicht bloß in der Mitte des Gesichtsfeldes vorhanden sind. Die Dimensionen der Erscheinung sind für rothes Licht am größten und nehmen bis zum violetten stufenweise ab.

146. Läßt man endlich weißes Licht durch eine sehr große Anzahl schmaler Oeffnungen gehen, deren Entfernungen von einander vollkommen gleich sind, indem man ein Gitter mit sehr vielen kleinen Oeffnungen vor das Objectiv des Fernrohrs stellt und durch eine schmale Oeffnung Licht darauf leitet; so sieht man die Oeffnung am Heliostat wie ohne Gitter (Fig. 262) und in einiger Entfernung davon zu beiden Seiten, vollkommen symmetrisch, eine große Anzahl Farbenbilder, wie die, welche ein gutes Prisma hervorbringt; sie werden breiter, aber auch matter, so wie sie sich von der Mitte entfernen. Die ersten sind durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt, diese werden aber bei den folgenden immer schmäler, bis sie ganz verschwinden und die Spectra unvermerkt in einander übergehen, sich auch zum Theile decken. Man bemerkt auch bei gehöriger Stellung des Oculars in diesen Farbenbildern die dunklen Linien, zum Beweise, daß die Spectra aus homogenem Lichte bestehen. Zugleich finden folgende Gesetze der Ablenkung des Lichtes Statt: 1) Bei verschiedenen Gittern aus sehr vielen, parallelen, gleich dicken Fäden und gleichen Zwischenräumen verhalten die Sinusse der Ablenkungswinkel gleicher Theile der Farbenbilder umgekehrt wie die Entfernungen der Mitte zweier Zwischenräume. 2) Für jedes einzelne Gitter bilden die Sinusse der Ablenkung gleichartiger, farbiger Strahlen der verschiedenen Farbenbilder Glieder einer arithmetischen Reihe, deren Differenz dem ersten Gliede gleich ist. Das Auftreten der Spectra mit homogenem Lichte erklärt sich leicht aus 145. Jedes solche Spectrum ist die Aufeinanderfolge der Bilder der Spalte am Fensterladen für einfache Lichtsorten von verschiedener Farbe. Wo Licht von einer gewissen Abstufung mangelt, erscheint eine Lücke als dunkle Linie. Die Bilder in der Mittellinie des Gesichtsfeldes decken sich, und geben daher ein weißes Bild der Spalte am Fenster.

Gitter zu diesem Versuche erhält man am besten, wenn man entweder dünnen Gold- oder Silberdraht in die Gänge sehr feiner Schrauben spannt, oder wenn man in ein mit Goldplättchen belegtes Planglas Parallellinien radirt, oder nur mit einem Diamant in ein Planglas solche Linien zieht. Fraunhofer bediente sich bei den subtilsten Versuchen dieser Art eines auf die letzte Art verfertigten Gitters aus 3601 Linien, deren je zwei von ihrer Mitte aus gerechnet nur 0.0001223 P. Zoll von einander abstanden.

147. Befindet sich das Gitter in verschiedenen brechenden Flüssigkeiten, so verhalten sich die Sinusse der Ablenkungswinkel gleichfärbiger Strahlen desselben Spectrums umgekehrt, wie die Brechungsexponenten dieser Flüssigkeiten.

148. Sehr überraschende Erscheinungen, die an Farbenpracht und Symmetrie alle optischen Erscheinungen weit hinter sich lassen, zeigen sich, wenn Strahlen durch mehrere runde oder eckige Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres fallen, mithin Strahlen, die nach mehreren Richtungen gebeugt sind, zusammen wirken. Fällt z. B. das Licht durch zwei gleiche, aber kleine, runde Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres, so erblickt man darin die Erscheinung, welche Fig. 263, a, vorstellt, wo die weißen Räume Farbenbilder sind. Bei drei solchen Oeffnungen, deren Mittelpunkte ein gleichseitiges Dreieck geben, sieht man das Phänomen, welches Fig. 263, b, andeutet. Unbeschreiblich prächtig sind die Erscheinungen, die man erhält, wenn das Licht durch viele gleich gestaltete, und in symmetrischer Anordnung neben einander abstehende kleine Oeffnungen ins Fernrohr tritt. Sie hängen von der Gestalt und Anordnung dieser Oeffnungen ab, lassen sich aber nicht wohl in einem kleinen Raume abbilden.

Als Beleg des Gesagten mag die von Fraunhofer zuerst dargestellte Beugungserscheinung dienen, welche zwei gekreuzte Gitter mit gleichen Spaltöffnungen geben, wodurch gleichsam ein Gitter mit quadratischen gleichen und gleichweit von einander abstehenden Oeffnungen entsteht; ferner die eines Gitters mit vielen regelmäßig gestellten dreieckigen Oeffnungen, dergleichen von Herschel und Schwerd construirt wurden, wobei die dichten Gruppen der farbigen Spectra durch die Radien eines sechsstrahligen Sternes gesondert erscheinen u. dgl.

149. Radirt man auf ein polirtes Stahlplättchen oder auf ein mit Gold belegtes Planglas ein feines Gitter, und legt es so, daß das von demselben reflectirte Licht entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr ins Auge kommt; so gewahrt man alle Erscheinungen, die im directen Lichte bei demselben Gitter bemerkt werden. Die einzelnen Farbenbilder und ihre Abstände von der Axe sind desto größer, je schiefer das Licht einfällt.

Aus den angeführten Beugungsgesetzen erklären sich mehrere Erscheinungen. Z. B. die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, durch enge gewebtes Zeug, oder durch ein mit Hexenmehl bestreutes Glas auf einen nicht zu nahen, stark beleuchteten Punkt sieht; das Farbenspiel an den feinen Haaren der Hüte, wenn man durch sie nach der Sonne blickt; die Lichtstreifen an dem Bilde einer Kerzenflamme in manchem Planspiegel; die Farbenringe um den dunklen Mondeskörper bei totalen Mondesfinsternissen; die dunklen Streifen, welche man zwischen den eng an einander geschlossenen gestreckten Fingern sieht rc. Fast noch fruchtbarer sind die Beugungsgesetze reflectirter Strahlen. Man erklärt daraus das lebhafte Farbenspiel des Barton'schen Irisschmuckes, ja selbst das bekannte Farbenspiel der Perlmutter; denn Brewster überzeugte sich, daß die Oberfläche derselben sehr viele, feine, regelmäßige Furchen habe, daß man diese irisirende Eigenschaft anderen weichen Substanzen, z. B. Siegellack, arabischem Gummi, Stanniolfolio,

selbst Blei mittheilen kann, indem man ein Plättchen Perlmutter darauf abdrückt; er bemerkte dieselbe Lichterscheinung auch an der Oberfläche eines stark eingekochten Gallerts aus Kalbsfüßen. Zu diesen Erscheinungen gehört auch das Farbenspiel der Flügeldecken einiger Insecten, das Schillern abgestandener Gläser, vieler Färbestoffe, z. B. des trockenen Waides 2c. Die von Herschel beobachteten Erscheinungen, indem er ein stark vergrößerndes Fernrohr gegen einen hellen Stern richtete und vor das Objectiv eine Blendung setzte, gehören ganz in die Classe der gewöhnlichen Beugungsphänomene. Der Stern dient hier als Lichtpunkt.

150. So lange das Licht auf ein durchsichtiges oder undurchsichtiges Gitter senkrecht einfällt, erscheinen die durch Beugung entstandenen Spectra zu beiden Seiten des Bildes der Spalte vollkommen symmetrisch angeordnet, bei schief einfallendem Lichte hört jene Symmetrie auf, und die einzelnen Spectra erscheinen an der Seite, welche mit dem einfallenden Strahle einen spitzigen Winkel macht, größer als an der anderen; diese Ungleichheit wächst mit dem Einfallswinkel des Lichtes. Außer diesem hängt auch noch eine besondere Modification der Lichtstärke einzelner Stellen in den Farbenbildern vom Einfallswinkel ab. Brewster hat nämlich gefunden, daß die Farbenbilder bei schief einfallendem Lichte an bestimmten Stellen ein Minimum ihrer Intensität erreichen. Die Lage dieser Stellen hängt von der Beschaffenheit des Gitters und vom Einfallswinkel ab, und kann, wenn sich dieser Winkel successiv ändert, wieder in dieselbe Farbe desselben Spectrums, aber auf eine andere Stelle desselben fallen. Bei einer Vergrößerung dieses Winkels tritt ein solches Minimum zuerst am Roth des innersten Spectrums ein, und rückt durch alle Farben bis zum Violett vor. Während dieses aber mit dem innersten Spectrum Statt findet, tritt es auch schon an den darauf folgenden Farbenbildern ein. Brewster hat diesen Gegenstand vorzüglich im reflectirten Lichte untersucht. (Zeitsch. 8. 202.)

151. Die Erscheinungen, welche sich bei der Beugung des Lichtes durch einen dünnen Draht darbieten und mit einer Loupe zu beobachten sind, zeigen sich denjenigen ähnlich, die ein Schirm mit zwei engen parallelen und gleichen Spaltöffnungen bei derselben Beobachtungsweise hervorbringt. Man sieht nämlich da zu beiden Seiten des beugenden Körpers oder seines Schattens Farbenstreifen, überdieß aber noch andere innerhalb der Grenzen dieses Körpers oder seines Schattens, welche durch dunkle Linien von einander gesondert sind. Die äußeren Farbenstreifen erblickt man fast eben so, wenn das von einer leuchtenden Linie ausgehende Licht an der Seite eines breiten Körpers vorbeigeht. Im homogenen Lichte ist die Anzahl derselben größer als im weißen, weil sich in letzterem die den verschieden farbigen Strahlen zugehörenden theilweise decken.

Eilftes Kapitel.

Interferenz des Lichtes und Farben dünner Körper.

152. Die Erscheinungen des gebeugten Lichtes deuten darauf hin, daß Strahlen, die unter einem sehr kleinen Winkel zusammentreffen, auf einander einwirken. Man nennt diese Einwirkung Interferenz des Lichtes. Obgleich schon Hook (1667) von ihr spricht, blieb sie dennoch ganz unbeachtet, bis in neuester Zeit Young (1800) die Aufmerksamkeit der Physiker darauf lenkte, und Fresnel ihre Realität außer allen Zweifel setzte.

153. Die Interferenz des Lichtes gibt sich bei der Vergleichung des Beugungsphänomens zweier gleichen einander nahen Spalten mit dem von einer einzelnen Spalte herrührenden deutlich zu erkennen. Da nämlich die äußeren Spectra oder Farbenstreifen in beiden Fällen dieselben sind, so verdanken die im ersten Falle vorhandenen mittleren Spectra ihr Entstehen dem Zusammenwirken des Lichtes, das durch beide Spalten geht, und an ihren Rändern gebeugt wird. Da ferner, zumal bei Anwendung homogenen Lichtes, die Helligkeit der mittleren Spectra mehrere Maxima und Minima zeigt, und in letzteren bis auf Null herabsinkt; so wird man zu dem Schlusse geführt, daß zwei in demselben Punkte zusammenkommende Lichtstrahlen nicht jederzeit eine Verstärkung des Lichtes bewirken, sondern unter gewissen Umständen auch einander zu schwächen, ja selbst gänzlich zu vernichten vermögen. Zu demselben Schlusse berechtiget die Vergleichung des Beugungsphänomens eines dünnen Drahtes mit der Erscheinung, die sich zeigt, wenn man an einer Seite des Drahtes das Licht vorbei zu gehen hindert. Die äußeren Streifen im ersten Falle stimmen mit den im letzteren allein vorhandenen fast überein; die Linien im Innern des geometrischen Schattens des Drahtes sind also ein Erzeugniß des Aufeinanderwirkens des an beiden Rändern gebeugten Lichtes.

154. Allein nicht bloß das durch Beugung von seinem ursprünglichen Wege abgelenkte, sondern auch ungebeugtes Licht ist unter günstigen Umständen der Interferenz fähig. Es müssen nämlich zur Hervorbringung derselben, wie die Erfahrung lehrt, die Lichtstrahlen von einerlei Lichtquellen kommen, unter einem sehr spitzen Winkel zusammentreffen, und ihre Wegdifferenz darf nicht bedeutend seyn. Diesen Bedingungen genügt man, wie Fresnel gezeigt hat, wenn man von einem leuchtenden Punkte auf zwei unter einem sehr stumpfen Winkel gegen einander geneigte Spiegel, oder auf ein sehr flaches dreiseitiges Prisma Strahlen fallen läßt. Die nach der Reflexion oder Brechung einander durchkreuzenden Strahlen bringen ein Interferenzphänomen hervor, welches man wahrnimmt, wenn man das mit einer Loupe versehene Auge in einiger Entfernung vor die Durchschnittslinie der Spiegelflächen oder die Kante des stumpfen Winkels am Prisma bringt, und gegen die Mitte der Verbindungslinie der zwei Bilder des leuchtenden Punktes hinsieht, die durch die Spiegel oder durch die brechenden Flächen des Prisma's erzeugt werden. Man erblickt da

im weißen Lichte eine Reihe heller Streifen, die mit der Durchschnittslinie der Spiegelflächen oder mit den Kanten des Prisma's parallel laufen, und zwischen welchen, in nahe gleichen Abständen von einander, sich Linien befinden, wovon die mittleren scharf begrenzt und dunkel, die entfernteren aber minder scharf begrenzt und farbig erscheinen, und immer heller werdend sich allmälig in dem lichten Grunde des Phänomens verlieren. Im homogenen Lichte ist die Anzahl der dunklen Linien weit beträchtlicher als im weißen, und die der Mitte nahe stehenden sind intensiv schwarz; ändert man die Farbe des Lichtes, vom rothen gegen das violette fortschreitend, so rücken die dunklen Linien immer näher an einander; ihre Abstände sind bei rothem Lichte fast noch einmal so groß, als bei violettem. Hiernach erklärt sich die Beschaffenheit der Erscheinung im weißen Lichte von selbst; diese ist nämlich das Resultat der Uebereinanderlagerung der Erscheinungen, welche die einzelnen farbigen Lichtsorten, die im weißen Lichte enthalten sind, für sich hervorbringen würden; in der Mitte kommt Licht von allen Farben zusammen und erzeugt den weißen Streifen, den man da sieht; zu beiden Seiten desselben fallen auch die benachbarten dunklen Linien der intensivsten Farben nahe an einander; in einiger Entfernung dagegen mengen sich die hellen und dunklen Theile der verschiedenen Farben dergestalt, daß die Undeutlichkeit immer größer wird, und man keine Abstufungen der Lichtstärke und keine Färbung mehr gewahr wird. Unter übrigens gleichen Umständen nimmt die Breite der Streifen zu, wenn der Winkel der Spiegel oder die Kante des Prisma's stumpfer wird; eben so, wenn der Beobachter sich von den Spiegeln oder vom Prisma entfernt. In jeder Hinsicht aber stimmt das hier beschriebene Phänomen mit demjenigen überein, welches die Beugung des von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Lichtes an zwei neben einander befindlichen engen Spalten in der Mitte des Gesichtsfeldes gewährt, wenn die scheinbare Entfernung der Spalten von einander der scheinbaren Distanz der Bilder des leuchtenden Punktes bei dem Versuche mit den Spiegeln oder mit dem Prisma gleichkommt, und die Beobachtung ebenfalls mittelst der Loupe geschieht.

Den Interferenzversuch bringt man am leichtesten mit einem zu diesem Behufe geschliffenen Prisma zu Stande. Ist LMN (Fig. 264) der Durchschnitt des Prisma's, dessen Flächenwinkel bei L und M einander gleich und sehr spitz sind, S der leuchtende Punkt, welcher so stehe, daß die Gerade SN, die von ihm zur stumpfen Kante N geht, die LM senkrecht durchschneide, so werden zwei Strahlen wie SA, SB bei ihrem Austritte an den Flächen LN, MN dergestalt gebrochen, daß sie sich in I durchkreuzen. Befindet sich dieser Punkt innerhalb der Brennweite eines Sammelglases, zu welchem die genannten Strahlen nach ihrer Durchkreuzung gelangen, so werden sie nach der Brechung von einem entfernteren, in der von der Mitte der Linse durch I geführten Geraden liegenden Punkte herzukommen scheinen, und hat die Linse eine solche Stellung gegen das hinter ihr befindliche Auge, daß letzterer Punkt in der Sehweite desselben liegt, so wird das Auge den Erfolg der in I vor sich gehenden Interferenz der Strahlen AI, BI wahrnehmen. Ist die Entfernung des leuchtenden Punktes S vom

Prisma nicht zu gering, so scheinen alle durch die Flächen LN, MN austretenden Strahlen nahe von zwei Punkten S′, S″ herzukommen, die sich also wie Bilder von S verhalten. Um die vortheilhafteste Stellung des Auges gegen die Loupe zu erkennen, seyen S′, S″, Fig. 265, die letztgenannten Punkte und HK die Loupe. Betrachtet man S′S″ wie einen leuchtenden Gegenstand, so wird von diesem ein Bild s′s″ hinter der Loupe entstehen, welches man ohne merklichen Fehler findet, wenn man von S′ und S″ durch die Mitte der Loupe die Hauptstrahlen S′E, S″E zieht, und auf deren Verlängerungen E s′ und E s″ der Brennweite der Loupe gleich annimmt. Jeder von S′ kommende Strahl S′F geht demnach durch s′, und jeder von S″ kommende S″G geht durch s″. Nimmt demnach die Pupille des Auges den Ort s′s″ ein, so ist es an der vortheilhaftesten Stelle, denn es empfängt die möglich größte Menge der sich interferirenden Strahlen. Liegt der Durchschnittspunkt I′ der Richtungen s′F, s″G in der Sehweite, so sind es gerade die Strahlen S′F, S″G, deren in I vor sich gehende Interferenz die Erscheinung bedingt, die das Auge in I′ sieht. Die mit der Brechung des Lichtes im Prisma verknüpfte Farbenzerstreuung bringt eine Färbung der Interferenzstreifen hervor, welche man bei Anwendung der Spiegel vermeidet. Deßhalb, und weil man durch Aenderung des Winkels der Spiegelflächen eine Mannigfaltigkeit der Erscheinung hervorrufen kann, die das Prisma nicht gestattet, hat der Spiegelapparat vor diesem einen Vorzug. Die Spiegel sollen entweder aus Metall oder aus schwarzem Glase verfertiget seyn; indessen kann man sich auch mit geschwärzten Glasplatten behelfen, wenn nur die spiegelnden Flächen gehörig eben sind. Um den Versuch mit Bequemlichkeit und Sicherheit des Erfolges anstellen zu können, müssen sich die Spiegel in einer Fassung befinden, die den Neigungswinkel derselben ein wenig zu ändern gestattet. Da die Kanten, mittelst welcher die Spiegel an einander grenzen, stets gut an einander passen müssen, so ist nebst einer Vorrichtung zur Regulirung der Kanten auch noch erforderlich, daß die Drehungsaxe des Spiegels, der zum Behufe der Aenderung des Winkels bewegt wird, genau mit seiner Kante zusammenfalle, damit diese Kante während der Drehung des Spiegels nicht vor oder hinter die Kante des andern trete. Bringt man die beiden Spiegelflächen zuerst genau in eine Ebene, was man erreicht hat, wenn sie wie ein einziger Spiegel wirken, mithin keine Spur einer Verdoppelung der Bilder zu bemerken ist, so darf man nur den einen Spiegel äußerst wenig gegen den andern neigen, um eine brauchbare Stellung der Spiegel zu erhalten. Uebrigens ist es räthlich, den Einfluß jeder Veränderung, die man an der Stellung der Spiegel vornimmt, auf das Phänomen sogleich mittelst der Loupe zu prüfen, wodurch man die Handgriffe, die zur Erzielung der höchsten Reinheit desselben nöthig sind, am besten kennen lernt. Als leuchtender Punkt kann, zumal wenn die Beobachtung, wie es bei Messungen nöthig ist, längere Zeit dauern soll, das Sonnenbild im Brennpunkte einer mikroskopischen Linse dienen, der man mittelst eines Spiegels Licht zusendet. Der Umstand, daß die Interferenzlinien der Durchschnittslinie der Spiegelflächen parallel sind, gestattet, statt eines leuchtenden Punktes, eine dieser Durchschnittslinie parallele leuchtende Linie anzuwenden. Die von jedem Punkte erzeugten Linien fallen in einander und verstärken sich wechselseitig. Hiedurch erhält man nicht nur mittelst Kerzen- oder Lampenlichtes eine sehr deutliche Darstellung des Interferenzphänomens, sondern man ist auch im Stande, bei Anwendung des Sonnenlichtes, dasselbe auf eine weiße Tafel mit der größten Schärfe zu projiciren. Jedenfalls ist es vortheilhaft, das Licht sehr

schief auf die Spiegel fallen zu lassen. Will man dieses Phänomen in homogenem Lichte betrachten, so zerlege man das mittelst eines Heliostates durch eine Spalte am Fensterladen geleitete Licht mit Hülfe eines Prisma's, und fange das Farbenbild mit einem Schirme auf, an welchem sich eine schmale Spalte befindet, die nur Strahlen von einer bestimmten Farbe auf die Spiegel gelangen läßt. Um jedoch das Beugungsphänomen, welches letztere Spalte erzeugt, wegzuschaffen, ist es gut vor dieselbe ein cylindrisches Sammelglas zu setzen. Auch die Durchkreuzung directer Lichtstrahlen mit reflectirten bringt Interferenz hervor. Ist nämlich S ein leuchtender Punkt oder eine leuchtende Linie, wovon ein Strahl SH, Fig. 266, sehr schief auf den geschwärzten Spiegel MN fällt und nach HI reflectirt wird, so durchkreuzt derselbe jeden vor dem Spiegel vorbeigehenden Strahl SI, und modificirt dessen Intensität. Das Interferenzphänomen läßt sich gut mittelst einer stark vergrößernden Loupe beobachten, die man dem Spiegel gehörig nahe bringt.

155. Aus dem Hergange des in homogenem Lichte beobachteten Interferenzphänomens erhellet, daß jeder einzelne helle oder dunkle Streifen durch Lichtstrahlen gebildet wird, die vom leuchtenden Punkte an gerechnet, Wege zurückgelegt haben, zwischen denen eine gewisse constante Differenz besteht. Es entsteht nämlich 1) der leuchtende Streifen, welcher sich als die Mittellinie des Phänomens offenbart, aus Strahlen, die vom leuchtenden Punkte bis zum Durchschnittspunkte gerechnet, gleiche Wege zurückgelegt haben, d. i. deren Wegdifferenz = 0 ist. 2) Die nächsten zwei leuchtenden Streifen, wovon einer links der andere rechts gegen den mittleren steht, werden durch Strahlen gebildet, deren Wege sich um eine gewisse Größe, deren Betrag für beide Streifen derselbe ist, unterscheiden. Diese Größe wollen wir ω nennen. 3) Der zweite Streifen, rechts und links vom mittleren, entsteht aus Strahlen, deren Differenz der Wege 2ω ist. 4) Im Allgemeinen ist der Unterschied der Wege der Strahlen, welche farbige Streifen geben $0, \omega, 2\omega, 3\omega, \ldots n\omega$. 5) Die zwischen den leuchtenden Streifen befindlichen dunklen werden durch Strahlen gebildet, deren Unterschied der Wege durch $\frac{1}{2}\omega, \frac{3}{2}\omega, \frac{5}{2}\omega \ldots$ ausgedrückt wird. 6) Für verschiedenfarbige Strahlen ist auch der absolute Werth von ω verschieden, und zwar für die rothen am größten, für die violetten am kleinsten. (Die numerischen Werthe derselben folgen später.)

156. Läßt man den einen Theil der sich interferirenden Strahlen durch ein heterogenes Mittel gehen, bevor sie mit den andern zusammentreffen, so verschieben sich die Interferenzstreifen, und zwar hängt die Größe der Verschiebung von der Dicke der heterogenen Schichte und von ihrem Brechungsvermögen ab. Es bringt daher der Durchgang eines Strahles, der einen andern interferirt, durch ein fremdes Mittel dieselbe Wirkung hervor, wie eine Aenderung der Wegdifferenz der Strahlen.

Man überzeugt sich von der Richtigkeit dieser Thatsache am leichtesten mit Hülfe einer Doppelspalte, vor deren eine Oeffnung man ein dünnes Glimmerplättchen setzt, und wie bei dem vorigen Versuche ver-

fährt. Die Beobachtung kann hier mittelst einer Wilf'schen Loupe oder mittelst eines Fernrohres geschehen. Die äußeren Beugungsspectra bleiben ungestört; aber die mittleren rücken seitwärts und erscheinen innerhalb des Raumes den erstere einnehmen.

157. Die durch die oben angeführten Versuche festgestellte Thatsache des Aufeinanderwirkens zweier Lichtstrahlen, aus welchem, statt einer Verstärkung der Intensität des Lichtes, wie man auf den ersten Blick vermuthet hätte, sogar ein Aufheben des Lichtes hervorgehen kann, ist eine der wichtigsten in Beziehung auf die Vorstellung, die man sich über die Natur des Lichtes zu bilden vermag; diese Wichtigkeit wird aber noch durch das besondere Verhalten des geradlinig polarisirten Lichtes bei der Interferenz erhöht. Wie nämlich Arago und Fresnel im Jahre 1816 entdeckt haben, geht die Interferenz zweier Bündel geradlinig polarisirten Lichtes, wenn die Polarisationsrichtungen derselben parallel sind, genau so vor sich, wie sie unter den nämlichen Umständen mit gewöhnlichem Lichte Statt findet; sobald aber die Polarisationsrichtungen einen schiefen Winkel machen, geht die Schwächung der Lichtintensität nicht mehr bis zur Vernichtung des Lichtes, und beträgt um so weniger, je größer der Winkel der Polarisationsrichtungen ist, weßwegen das Interferenzphänomen selbst in gleichem Grade an Deutlichkeit verliert; stehen endlich die Polarisationsrichtungen auf einander senkrecht, so fällt jede Schwächung des Lichtes und mithin auch die Wahrnehmbarkeit des Interferenzphänomens hinweg.

Versuche zum Beweise dieser wichtigen Thatsache macht man am besten mit zwei gleichen parallelen Spalten, die man vor das Objectiv eines Fernrohres bringt, und vor welchen sich zum Behufe der Polarisirung der durch dieselben hindurchgehenden Lichtbündel entweder zwei gleiche Turmalinplättchen, oder zwei gleich dicke Säulen aus Glas oder Glimmertafeln befinden, deren Lage die relative Stellung der Polarisationsebenen der durch diese Spalten gehenden Lichtbündel bestimmt. Setzt man vor die beiden Spaltöffnungen zwei gleich dicke, der Krystallaxe parallel geschnittene Bergkrystallplatten, so sieht man, je nachdem die Axen parallel oder gegen einander geneigt oder auf einander senkrecht stehen, das gewöhnliche Interferenzphänomen, oder dieses in geringerer Intensität und zu beiden Seiten desselben ebenfalls Interferenzspectra, oder nur letztere allein. Nennen wir nämlich die in beiden Spalten durch gewöhnliche Brechung des Lichtes sich ergebenden Strahlen O und O′, die durch ungewöhnliche Brechung entstehenden E und E′; so interferiren sich im ersten Falle bloß O und O′, ferner E und E′, und die Spectra coincidiren; im zweiten kommen noch die Interferenzen von O mit E′ und von O′ mit E hinzu; im dritten interferiren sich bloß die letzteren zwei Strahlensysteme. Die Ausschließung der Interferenz von O mit E′ und von O′ mit E im ersten Falle, und der Interferenz von O mit O′ und von E mit E′ im dritten lehrt, daß rechtwinkelig zu einander polarisirte Strahlen durch Interferenz keine Modification der Intensität des Lichtes erzeugen.

158. So oft die Bedingungen, an welche das Auftreten der Interferenzphänomene gebunden ist, vorhanden sind, stellt sich eine solche Erscheinung ein. Das von dünnen Plättchen reflectirte oder gebro-

chene Licht erfüllt diese Bedingungen, und macht es wahrscheinlich, daß die Farben dünner Fischschuppen, Glaskugeln, Seifenblasen, dünner Schichten von Wasser oder Weingeist, ja selbst jene der in den feinen Sprüngen vieler Körper enthaltenen Luftplättchen von der Lichtinterferenz herrühren. Es sind nämlich dünne Plättchen der Körper durchsichtig, und ein Theil des auf sie auffallenden Lichtes wird an der Vorderfläche, der andere an der Hinterfläche des Plättchens zurückgeworfen; ein Theil des gebrochenen Lichtes hat aber bloß eine Brechung, der andere eine Brechung und zwei Reflexionen erlitten. Es sey z. B. MN (Fig. 267) ein dünnes Plättchen, SA ein Strahl, wovon ein Theil in A nach Ax reflectirt wird, während der andere in der Richtung AB ins Plättchen eindringt. Ein anderer mit SA paralleler Strahl S'A' erleide eben so in A' eine partielle Reflexion und eine Brechung in der Richtung A'B', in B' aber eine Reflexion nach B'A und in A eine partielle Brechung von der Art, daß der gebrochene Theil desselben mit dem reflectirten des Strahles SA zusammenfällt. Einer dieser zwei zusammenfallenden Strahlen hat daher den Weg SA + Ax, der andere den Weg S'A' + A'B' + B'A + Ax zurückgelegt. Der Theil B'A des Strahles S'A' erfährt in A eine partielle Reflexion nach AB, und dieser Theil schlägt beim Austritt in B den Weg By ein; eben diesen Weg nimmt aber auch der in A gebrochene Antheil des Strahles SA nach der Brechung in B. Also treffen wieder in By zwei Strahlen zusammen, deren einer den Weg SA + AB + By, der andere den Weg S'A' + A'B' + B'A + AB + By zurückgelegt hat. Zu diesen gesellen sich noch andere Strahlen S''A'', S'''A''' u. s. w., wovon Theile nach mehreren Reflexionen an den beiden Flächen des Plättchens bei A und B nach den Richtungen Ax, By austreten, und daher wieder andere Wege zurückgelegt haben. Alles dieses zeigt aber bloß die Möglichkeit einer Erklärung der Farben dünner Plättchen aus der Interferenz. Um die volle Zuläßigkeit dieser Erklärung zu erweisen, muß man vorläufig die Gesetze dieser Farbenerscheinungen kennen lernen.

159. Die Farben dünner Plättchen zeigen sich anders im durchgelassenen Lichte als im reflectirten, ändern sich mit der Natur und Dicke der Plättchen, so wie mit dem Einfallswinkel des Lichtes. Um ihre Gesetze erforschen zu können, muß man vor allem versuchen, sie an Plättchen von einerlei Natur und verschiedener aber bekannter Dicke hervorzubringen. Dazu dient nun ganz vorzüglich eine ebene Glasplatte A (Fig. 268), auf die man ein wohl centrirtes Converglas B von großem Halbmesser legt. Letzteres berührt nämlich jene Platte an einer Stelle, und steht rings um diese Stelle in gleicher Entfernung gleich weit von ihr ab, und man kann diesen Abstand genau kennen lernen. Gibt man demnach in den Raum zwischen den zwei Gläsern irgend eine Flüssigkeit, z. B. atm. Luft, Wasser, Weingeist rc., so füllt sie denselben aus, und bildet daher gleichsam concentrische, an Dicke nach außen wachsende ringförmige Plättchen, ja selbst, wenn man daraus alles Materielle, so gut man kann, entfernt, so erhält

man ein solches, wiewohl nicht von Materie erfülltes Plättchen. Darum hat auch Newton, der diese Phänomene einer besonderen Aufmerksamkeit gewürdiget, einen solchen Apparat gewählt, und er heißt darum auch Newton's Farbenglas. Dieses bietet nun Folgendes dar: Sieht man von oben auf diese Vorrichtung herab, so erblickt man in der Mitte einen schwarzen Fleck; diesen umgeben mehrere concentrische Farbenringe, auf sie folgt wieder ein dunkler Ring, hierauf wieder ein farbiger und so abwechselnd fort; die Farben werden immer schwächer, je größer die Ringe sind, und verlieren sich endlich ganz. Die Ordnung der Farben ist von der Mitte aus folgende: 1. Reihe: Schwarz, blau, weiß, gelb, orange, roth. 2. Reihe: Violett, indigoblau, blau, grün, gelb, orange, hellroth, scharlachroth. 3. Reihe: Purpurroth, indigoblau, blau, grün, roth, bläulichroth. 4. Reihe: Bläulichgrün, grün, roth. 5. Reihe: Grünlichblau, blaßroth. 6. Reihe: Grünlichblau, röthlichweiß. 7. Reihe: Grünlichblau, schwach röthlichweiß. Aehnliche Farbenringe bemerkt man auch im durchgelassenen Lichte, sie sind aber minder hell und an Farbe verschieden; jedem Ringe, der im reflectirten Lichte sich zeigt, entspricht im durchgelassenen ein anderer, dessen Farbe jene zu Weiß ergänzt. Die Farben folgen beständig in derselben Ordnung auf einander, sie erscheinen im luftleeren Raume, in verdünnter Luft, ja selbst, wenn statt Luft eine andere Flüssigkeit, z. B. Wasser, Weingeist, zwischen den Gläsern enthalten ist; der einzige Unterschied besteht in der verschiedenen Lebhaftigkeit der Farben und im Durchmesser der Ringe. In der Regel ist die Lebhaftigkeit der Farben größer in verdünnter Luft, als in Luft von natürlicher Dichte, und hier wieder größer, als wenn Wasser zwischen den Gläsern steht. Die Größe eines Ringes von bestimmter Farbe nimmt zu, wenn man ihn schief ansieht, die Gläser scharf an einander drückt oder das Brechungsvermögen der zwischen den Gläsern enthaltenen Flüssigkeit vermindert.

160. Newton maß die Durchmesser dieser Ringe mit einer musterhaften Genauigkeit bei verschiedenen Einfallswinkeln des Lichtes und bei verschiedenen Flüssigkeiten, und überzeugte sich, daß unter übrigens gleichen Umständen der Durchmesser eines Ringes in demselben Verhältnisse kleiner werde, in welchem das Brechungsvermögen der Flüssigkeit zunimmt; eine Wahrheit, die deßhalb sehr wichtig ist, weil sie lehrt, wie man die bei Einer Flüssigkeit erhaltenen Resultate auf alle anderen ausdehnen kann.

161. Ungeachtet aller dieser Bemühungen war das Phänomen der Farbenringe noch immer wegen der verschiedenen Brechbarkeit des einfallenden Lichtes zu verwickelt, als daß man es in seine Elemente hätte zerlegen können. Deßhalb ließ Newton auf das Farbenglas gleichartiges Licht fallen. Da zeigten sich folgende Erscheinungen: 1) Jeder gleichartige Strahl erzeugt Ringe von seiner eigenen Farbe, sowohl durch Reflexion als durch Transmission. 2) Jeder Ring ist sowohl im reflectirten als durchgelassenen Lichte von dem folgenden durch einen dunklen Zwischenraum getrennt; man kann deßhalb jeden

einzelnen besser als im vollen Lichte, und deren auch mehrere wahrnehmen. Der dunkle Zwischenraum wird desto schmäler, je mehr sich die Ringe vom Mittelpunkte entfernen. 3) Jedem dunklen Zwischenraume im reflectirten Lichte entspricht im durchgelassenen ein farbiger Ring, und wo im letzteren der dunkle Zwischenraum ist, da befindet sich im ersteren ein Farbenring; jedoch sind diese dunklen Stellen minder lichtarm als im reflectirten Lichte. 4) Sowohl die reflectirten als die durchgelassenen Lichtringe haben eine angebbare Breite, die aber nicht gleichförmig beleuchtet ist, sondern die Lichtstärke verliert sich von einem Kreise in der Mitte jedes Ringes aus allmälig. 5) Bei jeder Lichtgattung nehmen die Quadrate der Halbmesser der reflectirten Farbenringe vom hellsten Punkte an gerechnet zu, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 rc. 6) Die Quadrate der Halbmesser der dunklen Zwischenräume wachsen wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 rc. 7) Bei den durchgelassenen Farbenringen entspricht der hellste Kreis dem dunkelsten im reflectirten Lichte; es findet daher hier dasselbe Verhältniß bei den dunklen Zwischenräumen Statt, wie im reflectirten Lichte bei den farbigen Ringen, und umgekehrt. 8) Der Durchmesser eines Ringes von derselben Ordnung wird desto kleiner, je brechbarer das Licht ist, das ihn bildet. So ist z. B. der vierte Ring im rothen Lichte größer als der vierte im gelben oder grünen. Dieses erstreckt sich sogar auf die Unterschiede der Brechbarkeit im Lichte von derselben Farbe; denn ein Ring im Lichte vom äußersten Roth des prismatischen Farbenbildes erscheint größer, als einer von derselben Ordnung, der vom mittleren Roth entstand. 9) Auch die Breite eines Ringes derselben Ordnung ist desto kleiner, je größer die Brechbarkeit des ihn bildenden Lichtes ist. 10) Die Ringe sind in jedem Strahle am kleinsten, wenn das Licht senkrecht durch die Luftschichte geht, und werden desto größer, je schiefer der Strahl einfällt.

Um die Erscheinungen der Farbenringe so einzurichten, daß sie von mehreren Personen zugleich betrachtet werden können, wie dieses bei Vorlesungen nöthig ist, bediene man sich zweier, sehr kleiner Convexlinsen, deren Krümmungen wenig von einander verschieden sind, gebe sie in eine Fassung, wo sie fest gehalten und zugleich nach Belieben mittelst Schrauben an einander gedrückt werden können, setze sie, wie ein Object, in das Sonnen- oder Lampenmikroskop ein, und fange das Bild auf einer weißen Tafel auf. Ist diese hinreichend entfernt, so erhalten die kleinsten Ringe wenigstens einen Durchmesser von 8 Zoll, und sind zugleich sehr deutlich sichtbar, besonders wenn man das Licht hinreichend mäßiget. Man kann sie auch mit einem gewöhnlichen Mikroskope ansehen.

162. Alle diese Phänomene gründen sich auf die Interferenz des Lichtes, was wir bereits vorhin angedeutet haben, und im folgenden Kapitel noch weiter ausführen werden. Vorerst kann einem die Aehnlichkeit zwischen den Interferenzphänomenen im weißen und farbigen Lichte mit jenen der Farbenringe bei weißer und farbiger Beleuchtung nicht entgehen. So wie die Interferenzphänomene im weißen Lichte aus dem theilweisen Zusammentreffen der einzelnen von jedem farbigen

Strahle herrührenden dunklen und farbigen Streifen herrühren (S. 365), eben so geht es hier. Es entstehen nämlich von jedem Strahle so viele Ringsysteme, als er Theile von verschiedener Brechbarkeit enthält; viele dieser Ringe fallen zum Theile auf einander, und bringen durch ihren Gesammteindruck die Empfindung der Mittelfarben hervor, wie sie S. 370 aufgezählt sind. Daß diese Ansicht die wahre sey, kann man schon hieraus abnehmen, daß, wenn man ihr gemäß untersucht, welche Ringe auf einem Theile des Glases entstehen, und welche Farbe sie zusammen hervorbringen müssen, diese Farbe genau diejenige ist, welche der Versuch nachweiset. Daß aber der Grund dieser Erscheinungen nur in der Interferenz des von beiden Flächen des dünnen Plättchens ins Auge kommenden Lichtes zu suchen sey, wird zur Gewißheit erhoben, wenn man auf experimentellem Wege zu zeigen vermag, daß das Licht beider Flächen zur Hervorbringung der Erscheinung wesentlich nothwendig ist. Solche Beweise hat Airy gegeben. Legt man eine große Converlinse mit schwach gekrümmten Flächen auf einen Metallspiegel und läßt darauf Licht fallen, so zeigen sich die Newton'schen Farbenringe. Gibt man dem einfallenden Lichtbündel gegen die Glasflächen jene Neigung, die zur Polarisirung desselben nothwendig ist, und betrachtet sodann die Erscheinung mittelst eines Turmalinplättchens oder Nicol'schen Prisma's in solcher Lage, daß das von den Glasflächen reflectirte Licht weggeschafft wird, so bleibt noch ein Theil des von der Metallfläche reflectirten Lichtes zurück, allein die Farbenringe verschwinden gänzlich. Dasselbe geschieht, wenn man gleich ursprünglich zur Beleuchtung des Apparates einen senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Lichtbündel verwendet. Sehr wichtig sind die Aenderungen, denen der bei der gewöhnlichen Versuchsweise dunkle Fleck in der Mitte der Farbenringe unterliegt, wenn die untere Fläche eine Metallfläche ist, und das nicht unter dem Polarisationswinkel einfallende Licht vor oder nach der Reflexion senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt worden ist. Ist nämlich der Einfallswinkel kleiner als der Polarisationswinkel, so erscheint dieser Fleck dunkel; er wird hingegen weiß gesehen, wenn der Einfallswinkel größer ist als der Polarisationswinkel. (Airy in Pogg. Ann. 26. 123.)

Es ist nicht schwer, außer den bisher behandelten Farben dünner Körper auch noch das Daseyn solcher begreiflich zu finden, die von der Interferenz von Strahlensystemen herrühren, welche mehrere Brechungen und Reflexionen erlitten haben. Solche hat in der That Brewster an Luftschichten wahrgenommen, welche zwischen parallelen Glasplatten oder zwischen einer hohlen und einer erhabenen Linse enthalten sind. (Pogg. Ann 26. 150.) Schließt man das eine Ende einer Röhre von etwa 10 Zoll Länge mit einem Deckel, worin sich eine rechtwinkelige Oeffnung von etwa $1/2$ Zoll Breite befindet, und deckt das andere Ende mit einer Glasplatte, gegen welche eine zweite unter einem sehr kleinen Winkel geneigte gestellt ist, und sieht man durch die Glasplatten gegen die Oeffnung am anderen Ende, so zeigen sich bei hinreichendem Lichte mehrere den Interferenzstreifen ähnliche Farbenspectra, die der Kante des Winkels der Glasplatten parallel sind.

Zwölftes Kapitel.

Theorie der Erscheinungen des Lichtes.

163. Nachdem im Vorhergehenden die mannigfaltigen Erscheinungen auseinander gesetzt worden sind, welche auf den Wirkungen des Lichtes beruhen, wollen wir jetzt die Beschaffenheit dieses wichtigen Agens zum Gegenstande der Forschung machen. Der Weg, den wir hiebei zu betreten haben, ist derselbe, auf dem man überhaupt in der Naturlehre bis zur Einsicht in die Ursachen der Erscheinungen, d. h. bis zur Erklärung der Phänomene, vordringt. Man setzt nämlich für jede Gruppe verwandter Erscheinungen einen Grund voraus, und untersucht, ob sich aus demselben die Gesetze dieser Erscheinungen, so wie sie die Erfahrung darbietet, im Einklange mit allen bereits als richtig anerkannten Principien folgern lassen. Widerspricht eine Folgerung der Erfahrung, so ist der angenommene Erklärungsgrund zu verwerfen; genügt er aber den bisher bekannten Erscheinungen, so wird uns seine Realität um so wahrscheinlicher, je zahlreicher und mannigfaltiger diese Erscheinungen sind. Zur besonderen Empfehlung gereicht es jedoch einer Ansicht, die wir in Betreff der Ursache einer Classe von Erscheinungen gefaßt haben, wenn sie, durch die Folgerungen, welche sie darbietet, die Entdeckung neuer Erscheinungen veranlaßt, zumal solcher, deren man ohne diesen Leitfaden, an der Hand bloßer Empirie, nicht leicht hätte habhaft werden können. Die Lehre vom Lichte bietet, mehr als irgend ein anderer Theil der Naturlehre, Gelegenheit dar, den Entwickelungsgang der Forschung auf diesem Wege kennen zu lernen, und die Wirksamkeit des menschlichen Scharfsinns zu bewundern. Die Geschichte der Physik zeigt uns hier das Beispiel einer Hypothese, welche seit langer Zeit festgehalten und ausgebildet, bei fortschreitender Erfahrung, als unhaltbar aufgegeben werden, und einer andern Ansicht das Feld räumen mußte, die anfänglich kaum beachtet und höchstens als ein merkwürdiges Exempel der Verirrungen, denen selbst hohe Talente ausgesetzt sind, angeführt, sich, als man sie zu bearbeiten gelernt hatte, rasch entfaltete, und nun als ein Muster einer physikalischen Theorie dasteht, und in der Wissenschaft einen der obersten Plätze einnimmt.

§. 164. Unter den verschiedenen Hypothesen, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Lichtes aufgestellt worden sind, können nur zwei in Erwägung kommen, weil sie die Affection der Sehwerkzeuge auf eine mit der Einwirkung auf die übrigen Sinne analoge Art erklären, und wirklich haben diese die Oberhand erhalten. Die für uns begreiflichen Einwirkungen auf unsere Sinne geschehen nämlich durch materielle Berührung der Sinnorgane. Man ist daher genöthigt, anzunehmen, daß beim Gesichtssinne dasselbe Statt finde, und daß ein Ding nur dadurch für uns sichtbar werde, daß es die Netzhaut unserer Augen durch Berührung afficirt. Die successive Fortpflanzung des Lichtes, die Reflexion, Brechung und die übrigen Phänomene lassen über die Materialität desselben wohl keinen Zweifel

übrig. Da aber unser Auge in unermeßliche Fernen reicht, so muß entweder, wie es bei den Stoffen, die auf unseren Geruchssinn einwirken, der Fall ist, von den sichtbaren Körpern etwas in unsere Augen gesendet werden, das ursprünglich von den selbstleuchtenden Körpern ausströmt, und auf der Netzhaut diejenige Empfindung hervorbringt, die das Sehen vermittelt; oder es muß sich die Bewegung, in welcher sich ein leuchtender Körper gleich einem schallenden befindet, durch ein materielles Mittel bis zu unseren Sehwerkzeugen fortpflanzen, und so wieder in uns die Empfindung des Sehens hervorrufen. Ersteres wird in der sogenannten Emanations- oder Emissionshypothese, letzteres in der Vibrations- oder Undulationshypothese angenommen; zu ersterer schien sich Newton hinzuneigen, von dessen zahlreichen Nachfolgern sie verfochten, und noch in neuester Zeit von Biot auf den höchsten Grad der Ausbildung gebracht wurde, dessen sie fähig ist; letztere von Descartes, und namentlich von Huyghens begründet und von Euler in Schutz genommen und weiter ausgeführt, hat in unserer Zeit durch Young, Fresnel, Fraunhofer, Herschel, Airy, Hamilton, Neumann, Cauchy u. m. a. eine früher nicht geahnete Entwickelung erhalten, und nur sie allein kann nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens als zuläßig betrachtet werden.

165. Die Aufgabe, welche eine Theorie des Lichtes, wofern sie haltbar seyn soll, zu lösen hat, wird durch den Inbegriff der zu erklärenden Erscheinungen ausgesprochen. In einem gleichartigen Mittel erfolgt die Wirkung des Lichtes nach geraden Linien, welche wir Lichtstrahlen nennen. Außer der Richtung kommt an jedem Lichtstrahle noch in Betrachtung seine Intensität, seine Farbe (dieß Wort in dem Sinne genommen, daß es den objectiven Grund der Fähigkeit bezeichnet, in unserem Auge die Empfindung einer gewissen Farbe hervorzurufen) und sein Polarisationszustand. Rücksichtlich der Farbe sind unendlich viele Abstufungen; hinsichtlich des Polarisationszustandes, jener der geradlinigen, circularen und elliptischen sowohl der Art nach zu unterscheiden, als auch der Gattung nach unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt zusammenzufassen. Für alle diese Merkmale eines Lichtstrahles muß die Theorie aus dem angeblichen materiellen Wesen des Lichtes entnommene Bestimmungsgründe darbieten. Sie hat nachzuweisen, wovon die Durchsichtigkeit und Undurchsichtigkeit der Körper abhängt; auf welche Weise die Reflexion, die einfache und doppelte Brechung, die Beugung des Lichtes vor sich geht; vor Allem aber muß sie über die Qualität der materiellen Grundlage des Lichtes, von der die Interferenzfähigkeit der Strahlen abhängt, Aufschluß geben, da sich verschiedene Phänomene, unabhängig von jeder Voraussetzung über die Natur des Lichtes, auf die Interferenz zurückführen lassen, was in Betreff der mittleren Beugungsspectra und der Newton'schen Farbenringe bereits nachgewiesen worden ist.

166. Nach der Emanationshypothese ist das Licht eine Materie

eigener Art, die von den leuchtenden Körpern nach allen Seiten ausgesendet wird. Die Bewegung jedes einzelnen Lichttheilchens geschieht in dem leeren Raum, wie auch in einem gleichartigen Mittel stets nach geraden Linien, und diese sind es, welche wir Lichtstrahlen nennen. Um das stete Vorhandenseyn der geradlinigen Bewegung des Lichtes mit den übrigen Naturerscheinungen in Einklang zu bringen, muß man da annehmen, die Theilchen des Lichtstoffes seyen träge aber nicht schwer. Da das Auge durch eine sehr kleine Oeffnung eine ungemein große Menge von Gegenständen zugleich übersehen kann, ferner, da es scheint, daß die Lichttheilchen in den durchsichtigen Körpern nach allen denkbaren Richtungen ungehindert zu gehen vermögen, so müssen dieselben von äußerster Feinheit seyn. Allein das Licht bewegt sich, nach dem Zeugnisse der Erfahrung, mit einer der größten Geschwindigkeiten, die wir in der Natur nachzuweisen vermögen (nahe 42000 Meilen in 1 Secunde), und dennoch konnte man selbst in dem Brennpunkte der größten Brennspiegel und Brenngläser, wo eine außerordentliche Menge von Lichttheilchen gleichzeitig eintrifft, nichts wahrnehmen, was auf eine merkliche Größe der Bewegung schließen ließe; deßhalb muß auch die Masse jedes Lichttheilchens im Vergleiche gegen die jedes sinnlich wahrnehmbaren materiellen Theilchens von außerordentlicher Kleinheit gedacht werden. Wegen der großen Geschwindigkeit und der Fortdauer des Lichteindruckes in unserem Auge brauchen die Lichttheilchen in einem Lichtstrahle nicht dicht auf einander zu folgen, sondern sie können durch ungeheure Zwischenräume von einander getrennt seyn. Durch welche Kräfte die Lichttheilchen von den leuchtenden Körpern fortgeschleudert werden, bleibt hier ganz unbestimmt. Da die Erfahrung lehrt, daß der Hergang der Lichterscheinungen stets derselbe ist, das Licht mag von diesem oder jenem leuchtenden Körper kommen; so wird hiedurch noch die Annahme herbeigeführt, daß alle diese Körper gleichartiges Licht mit einerlei Geschwindigkeit aussenden. Die Intensität des Lichtes ist nach der Emanationstheorie ganz einfach eine Folge der Anhäufung der Lichttheilchen in einem Lichtstrahle. Um die große Verschiedenheit des Lichtes in Hinsicht auf Farbe begreiflich zu machen, muß man den einzelnen Lichttheilchen in sehr vielen Abstufungen sehr verschiedene Massen, wohl auch verschiedene Gestalten beilegen. Der Polarisationszustand eines Lichtstrahles fordert noch nähere Bestimmungen der Eigenschaften der Lichttheilchen. Man ist genöthigt, in jedem Lichttheilchen eine gewisse Axe seiner Wirkungen vorauszusetzen; der Act der Polarisation besteht sonach darin, den Axen der Lichttheilchen übereinstimmende oder wenigstens regelmäßig abwechselnde Stellungen zu geben. Ersteres soll bei der geradlinigen, letzteres bei der circularen und elliptischen Polarisation der Fall seyn, eine Vorstellungsweise, der selbst die Benennung »Polarisation« ihren Ursprung verdankt, in sofern nämlich die Endpunkte der Axen sich als Pole der Lichttheilchen ansehen lassen. Ein gemeiner (unpolarisirter) Lichtstrahl wäre derjenige, in welchem rücksichtlich der Axen der Lichttheilchen gar keine fixe Ordnung obwaltet. Allein auch damit

reicht man zur Erklärung der Farbenerscheinungen krystallisirter Plättchen nicht aus, sondern man muß noch gewisse Bewegungen der Lichttheilchen um ihre Mittelpunkte der Massen zu Hilfe rufen (Biot's bewegliche Polarisation), und selbst mit allen diesen Fictionen erreicht man das Ziel nicht vollständig. Wenn gleich die Emanationshypothese, die Reflexion und einfache Brechung des Lichtes dem Anscheine nach ziemlich genügend aus abstoßenden und anziehenden Kräften erklärt, welche die Theilchen der Körper auf die Lichttheilchen ausüben, so gibt sie doch über die doppelte Brechung keinen befriedigenden Aufschluß; die einfachsten Fälle der Beugung des Lichtes vermag sie nicht zu erklären; die größte Schwierigkeit setzt ihr aber die Interferenz des Lichtes entgegen, über deren Thatsachen (157) sie, ohne die gezwungensten, jeder Wahrscheinlichkeit ermangelnden Hilfshypothesen gar keine Auskunft zu geben im Stande ist. Aus dieser Nothwendigkeit, für jede neue Classe von Phänomenen dem Lichtstoffe neue Qualitäten anzudichten, wird es auch begreiflich, warum die Emanationstheorie nie zu einer Entdeckung eines neuen Factums, welches aus ihr vorhergesagt worden wäre, Veranlassung gegeben hat. Diese Andeutungen, und noch mehr die nachfolgende Auseinandersetzung der Undulationstheorie nöthigen, die Emanationshypothese zu verlassen, wie groß auch die Autoritäten seyn mögen, welche sie ausbildeten oder sie noch gegenwärtig in Schutz zu nehmen suchen.

Die Erklärung der Reflexion des Lichtes wird im Geiste der Emanationshypothese folgendermaßen gegeben: Weil der auffallende Strahl zuerst seine ganze Geschwindigkeit verliert, und hierauf eine gleiche nach entgegengesetzter Richtung bekommt; so muß vom reflectirenden Körper eine Kraft ausgehen, die auf das Licht abstoßend wirkt. Die Wirkung dieser Kraft kann nicht erst beginnen, wenn das Licht die reflectirende Ebene berührt, weil sonst die Erhöhungen und Vertiefungen, die sich auch an den möglichst polirten Oberflächen befinden, und gegen die Feinheit des Lichtes unendlich groß sind, zur Folge haben müßten, daß eine Reflexion nach allen Seiten erfolgen müßte, und nicht in der Ordnung, wie das Licht auffällt, welches doch bei den Spiegeln der Fall ist. Die Wirkungssphäre dieser Kraft muß aber doch sehr klein seyn, weil der Erfahrung gemäß ein Strahl von den Theilen, die in einer merklichen Entfernung vom Einfallspunkte liegen, gar keine Einwirkung erfährt. Denkt man sich nun die Geschwindigkeit eines schief auf eine reflectirende Fläche einfallenden Strahles in eine auf diese Fläche senkrechte (normale) und in eine mit dieser parallele aufgelöset, so wird nur erstere durch die abstoßende Kraft des Mittels verringert, letztere aber gar nicht afficirt. Deßhalb beschreibt der Strahl von dem Augenblicke an, wo er in die Wirkungssphäre des Mittels eintritt, eine krumme gegen das Mittel convexe Bahn. Sobald die ganze normale Geschwindigkeit aufgehoben ist, bewirkt die abstoßende Kraft eine der normalen Geschwindigkeit des Lichtes entgegengesetzte, und diese mit der übrig gebliebenen parallelen Geschwindigkeit zusammengesetzt, gibt eine der vorher genannten gleiche krumme Bahn für das Licht, und am Punkte, wo dasselbe die Wirkungssphäre des Mittels verläßt, fährt es nach der Tangente dieser Curve fort, und bildet so den reflectirten Strahl. — Die Brechung des Lichtes sieht man nach dieser Hypothese als das Ergebniß einer anziehenden

Kraft des brechenden Mittels an. Man meint, es sey diese Kraft in keinem Widerspruche mit der, woraus nach derselben Ansicht die Reflexion des Lichtes erklärt wurde, weil es denkbar ist, daß dieselbe Kraft, die in einem Zustande anziehend wirkt, in einem anderen eine abstoßende Wirkung ausübe. Diese Kraft muß nach einer Richtung wirken, welche auf der Oberfläche des brechenden Mittels senkrecht steht, weil ein senkrecht einfallender Strahl nicht gebrochen wird, und ihre Wirksamkeit kann sich in einem merklichen Grade nur auf eine sehr geringe Entfernung erstrecken, weil sonst die Ablenkung des Lichtes schon in der Nähe des brechenden Mittels bemerkbar seyn müßte, was aber nicht der Fall ist. Um aus der Wirksamkeit dieser Kraft die Erscheinungen der Brechung abzuleiten, denke man sich wieder die Geschwindigkeit des vom leeren Raume einfallenden Lichtes in eine normale und in eine parallele zerlegt. Erstere wird durch die anziehende Kraft des Mittels beim Eintritte des Lichtes in dasselbe verstärkt, letztere davon gar nicht afficirt; daher kommt es, daß die Bahn des Lichtes, welche die Resultirende dieser beiden Bewegungen im durchsichtigen Mittel ist, näher an der normalen liegt, als im leeren Raume, und daher eine Brechung zum Einfallslothe erfolgt. Kommt das Licht nicht vom leeren Raume, sondern von einem brechenden Mittel in ein anderes, so hängt das Ergebniß der Brechung von dem Unterschiede der anziehenden Kräfte beider Mittel ab. Ist die Kraft des Mittels, aus welchem ein Strahl kommt, kleiner, als die desjenigen, in welches er eintritt, so ist der Erfolg derselbe, als käme er vom leeren Raume in ein Mittel, dessen Anziehung dem Unterschiede der anziehenden Kräfte beider gleich ist; er wird daher, wie vorher, zum Einfallslothe gebrochen. Verhält es sich aber umgekehrt, so ist es gerade so, als wenn das zweite Mittel abstoßend auf das Licht wirkte, mit einer Kraft, welche dem Unterschiede der Anziehungskräfte beider Mittel gleich ist. In diesem Falle wird die auf die Einfallsebene senkrechte Geschwindigkeit des Strahles beständig vermindert, er beschreibt eine gegen das Einfallsloth convexe krumme Linie, und wird vom Einfallslothe gebrochen. Die Farbenzerstreuung ist eine natürliche Folge der Wirksamkeit solcher anziehenden Kräfte, welche auf Lichttheilchen von verschiedener Masse verschieden wirken, und dadurch eine verschiedene Ablenkung derselben hervorbringen. — Die Erscheinungen der Beugung aber lassen sich auf dem hier betretenen Wege nicht erklären, und bieten, wie man auch die Sache wenden mag, nur Beweisgründe gegen die Emanationstheorie dar. Es sind nämlich die Beugungsphänomene einzig und allein von der mathematischen Begrenzung der Oeffnung im Schirme oder des beugenden Drahtes, nicht aber von der materiellen Beschaffenheit desselben oder des um die Oeffnung befindlichen Körpers abhängig; aber nach dem Geiste obiger Erklärungen müßten die Phänomene der Beugung von einer Kraft abgeleitet werden, welche der Schirm oder die Ränder der Oeffnung auf das Licht ausüben. Man geräth in Widerspruch mit der Erfahrung, man mag diese Kraft auf eine merkliche oder unmerkliche Entfernung wirken lassen. Erstreckt sich ihre Wirkung auf eine angebbare Entfernung, so sollte sie von der Gestalt des Schirmes und der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängen, welches nicht der Fall ist; reicht aber ihre Wirkung nur unangebbar weit, so können nur die der Oeffnung oder dem beugenden Drahte nächsten Strahlen, nicht aber die davon entferntern gebeugt werden. — Als ein Beleg, wie man in der Emanationshypothese zu verfahren genöthigt war, mag die Art dienen, auf welche Newton das Phänomen der Farben dünner Plättchen, um dessen Beobachtung er so große Verdienste hat, auffaßte. Er sah darin die

Andeutung einer dem Lichte eigenen Qualität, vermöge welcher sich die Theilchen desselben in periodisch wechselnden Zuständen befinden, mit denen in gleichem Maße die Disposition zur Reflexion und zur Transmission wechselt. Diese Variationen des Zustandes nannte er Anwandlungen zur leichteren Reflexion und Transmission (*accessus facilioris reflexionis et transmissionis*), und den Weg, den ein Lichttheilchen durchläuft, bis es die am Anfange desselben gehabte Anwandlung wieder erlangt, welcher Weg wegen der gleichförmigen Bewegung in demselben Mittel und wegen der gleichen Dauer der Anwandlungen für Lichttheilchen von einer bestimmten Farbe constant ist, Intervall der Anwandlungen. Er nahm an, dieses Intervall variire bei dem senkrechten Uebergange des Lichtes in ein neues Medium, und verhalte sich zu dem früheren wie der Brechungsexponent zur Einheit; bei schiefer Incidenz dependire es überdieß vom Einfallswinkel, und sey unter gleichen Umständen um so kleiner, je weiter die Farbe des Lichtes im Spectrum vom Roth entfernt steht. Ein Lichttheilchen, welches reflectirt wird, nachdem es in ein Mittel bis zu einer gewissen Tiefe = c eingedrungen ist, wird dem gemäß gleichfalls reflectirt, wenn die Schichte des Mittels die Dicke 3c, 5c, 7c u. s. w. hat, dagegen durchgelassen, wenn die Dicke der Schichte 2c, 4c, 6c u. s. w. ist. Da am Newton'schen Farbenglase die Quadrate der Halbmesser der abwechselnd hellen und dunklen Ringe wie die natürlichen Zahlen, und eben so die den Ringen entsprechenden Dicken der zwischen den Gläsern befindlichen Schichten wachsen, so folgt hieraus das Phänomen der Farbenringe von selbst. Aber dieß ist keine Erklärung der Farbenerscheinung an dünnen Plättchen; ja nicht einmal das Verdienst, ein allgemeiner Ausdruck des Phänomens zu seyn, kommt dieser Darstellung zu, seitdem bewiesen wurde, daß das an der oberen Fläche eines Plättchens reflectirte, also gar nicht eingedrungene Licht zur Hervorbringung der Erscheinung eben so wesentlich beiträgt, wie letzteres.

167. Die Undulationstheorie postulirt die Existenz eines eigenen, den Weltraum und das Innere der Körper erfüllenden Stoffes, welcher durch das Wort Aether bezeichnet wird, und die materielle Grundlage der Erscheinungen des Lichtes ausmacht. Die Theilchen desselben wirken auf einander abstoßend, vielleicht zugleich auch anziehend, und werden durch ähnliche Kräfte auch von den Theilchen der Körper afficirt, welche Kräfte sämmtlich von der Art der Molecularkräfte sind, unter deren Einfluß die Aethertheilchen, wenn keine Lichterscheinung vor sich geht, in dem Zustande des stabilen Gleichgewichtes stehen. Die selbstleuchtenden Körper befinden sich in schwingender Bewegung, durch welche das Gleichgewicht des angrenzenden Aethers gestört, und dieser in fortschreitende Schwingungen versetzt wird, die, wenn sie bis zu unserem Auge vordringen, dem nächst der Netzhaut befindlichen Aether mitgetheilt werden, dessen Einwirkung auf den Sehnerv die Empfindung des Sehens zur Folge hat. Hiernach beruht die Fortpflanzung des Lichtes auf der fortschreitenden Wellenbewegung des Aethers; die Gesetze derselben sind in jenen enthalten, welche den Principien der Mechanik gemäß aus den erwähnten Voraussetzungen über die Kräfte, unter deren Herrschaft die Aethertheilchen stehen, sich ergeben, und die Qualitäten eines Lichtstrahles müssen in

räumlichen und quantitativen Bestimmungen der Elemente dieser Bewegung ihre Wurzel finden.

Der Einwurf, den man früher der Zulässigkeit der Undulationshypothese entgegensetzte, daß ihr gemäß kein Schatten möglich wäre, da, so wie man einen schallenden Körper hinter einer Wand hört, man auch einen leuchtenden Körper sehen müßte, wenn sich zwischen dem Auge und ihm undurchsichtige Körper befinden, beruht auf einem Mißverständnisse, und wird durch die Art, auf welche die Undulationstheorie den Hergang der Beugung des Lichtes erklärt, vollständig gehoben. Ein anderer Einwurf, der den Widerstand hervorhebt, welchen die Himmelskörper in dem Aether erfahren müßten, wenn dieser wirklich existirte, während ihre Bewegung so regelmäßig vor sich geht, wie es nur in einem leeren Raume geschehen kann, dürfte in den Augen desjenigen von keinem bedeutenden Gewichte seyn, der weiß, mit welcher Leichtigkeit sich ein Körper in einem Fluidum zu bewegen vermag, das ungemein fein ist, und durch die kleinsten Zwischenräume ungehindert geht. Aber auch dieses geringe Gewicht hat er verloren, seitdem man an dem von Encke berechneten Kometen wirklich eine Retardation bemerkt hat, die auf ein widerstehendes Mittel zu schließen erlaubt. Daß dieses die Bewegung der Planeten nicht merklich verzögert, kommt auf Rechnung der viel größeren Dichte derselben. Allein abgesehen hievon, so steht deßhalb die Undulationstheorie der Emanationshypothese nicht nach, weil nach letzterer der Weltraum mit allem Lichtstoffe ausgefüllt seyn muß, der von der Sonne und dem unermeßlichen Heere der Fixsterne ausströmen soll. Nimmt man auch an, in einem Strahle, der von der Sonne ausgeht, seyen die Lichttheilchen um mehrere tausend Meilen von einander entfernt, so muß doch der dabei entstehende Zwischenraum wieder vom Lichte anderer Himmelskörper erfüllt seyn, deren so viele Millionen auf einmal Licht aussenden. Dazu kommt noch, daß sich dieser Lichtstoff immer mehr anhäufen muß. Will man auch diesen widrigen Umständen dadurch begegnen, daß man annimmt, das Licht werde von Körpern absorbirt, so kann man doch nicht behaupten, sie seyen hierin unersättlich; sind sie es aber nicht, so müssen sie das aufgenommene Licht wieder frei lassen, wodurch die Schwierigkeit ihr früheres Gewicht behält. Die chemischen Wirkungen des Lichtes, welche viele mit der Vibrationshypothese unvereinbar finden wollen, lassen sich aus ihr nicht weniger gut, ja besser als aus der Emanationshypothese erklären. Denn nach letzterer sucht man ihren Grund in einer Verwandtschaft des Lichtstoffes zu den Körpern; aber eine Einwirkung der Oscillationen des Aethers auf die benachbarten Körpertheile macht diese Wirkungen des Lichtes auch begreiflich. Uebrigens hält es sehr schwer, die chemischen Wirkungen des Lichtes nach der Emanationshypothese zu erklären, seit Arago die Entdeckung gemacht hat, daß bei Chlorsilber, auf welches ein Interferenzspectrum fällt, an den Stellen, wo dunkle Linien liegen, auch keine Schwärzung eintritt. Nach dem Sinne der Undulationstheorie kann diese auch nicht eintreten, sobald keine Bewegung, mithin auch kein Licht vorhanden ist; es treffen aber dieser Theorie gemäß in den dunklen Linien wirklich Lichtstrahlen zusammen, deren Wellenbewegungen sich aufheben. Anders verhält sich die Sache aus dem Standpunkte der Emanationstheorie angesehen. Da kommen selbst an den dunklen Stellen Lichttheilchen zusammen, die ihre chemische Wirkung um so weniger verfehlen sollten, als ihrer mehrere vorhanden sind.

168. Die Mechanik gibt für die Fortpflanzung einer Erschütterung in einem tropfbar- oder ausdehnsam-flüssigen Mittel Gleichungen, woraus Gesetze folgen, die mit denen, wornach sich die Fortpflanzung des Lichtes in durchsichtigen Körpern richtet, nicht vereinbar sind. Dieß erschien, so lange man der Meinung war, die undulirende Bewegung des Aethers könne nur nach diesen Gleichungen betrachtet werden, ein für die Zuläßigkeit der Vibrationshypothese sehr nachtheiliger Umstand. Allein man erkannte in neuester Zeit, daß erwähnte Gleichungen auf Voraussetzungen beruhen, die wegfallen, wenn man den Aether lediglich als ein System materieller Theilchen ansieht, welche auf einander durch abstoßende und anziehende Kräfte einwirken, und daß in dieser Allgemeinheit die Fortpflanzung einer Erschütterung, mit der nur geringe Aenderungen in den relativen Positionen der Theilchen eines Mittels verbunden sind, sich nach denselben Gesetzen richte, das Mittel mag die feste oder die flüssige Aggregationsform besitzen; endlich daß diese Gesetze diejenigen, an welche die Fortpflanzung des Lichtes gebunden ist, als einen speciellen, durch die besondere Beschaffenheit des Aethers bedingten Fall in sich enthalten. Letzteres wurde vornehmlich von Cauchy, dessen wichtige Arbeiten über diesen Gegenstand noch nicht geschlossen sind, nachgewiesen, nachdem schon Fresnel auf diesem Gebiete die Bahn gebrochen hatte. Die analytische Untersuchung lehrt, daß in einem Inbegriffe von materiellen Theilchen, die durch Molecularkräfte zusammengehalten werden, entweder gar keine oder nur gewisse Bewegungsweisen sich fortpflanzen, und daß im Allgemeinen jede einzelne dieser Bewegungsformen, so lange die Beschaffenheit des Mittels keine Aenderung erfährt, mit einer eigenen Geschwindigkeit gleichförmig fortschreitet, die entweder nach allen Richtungen einerlei Größe hat, oder von ihrer jedesmaligen Richtung abhängt. Ersteres tritt ein, wenn die Anordnung der materiellen Theilchen in Hinsicht auf ihre Massen, ihre Distanzen und die Kräfte, denen sie unterliegen, nach allen Richtungen dieselbe ist, ein Fall, der sich bei dem freien, d. i. nicht innerhalb der Theilchen eines Körpers befindlichen Aether vorfindet, wie auch bei jenem, der im Innern unkrystallinischer Substanzen oder in Krystallen eingeschlossen ist, die nach dem tessularen (regulären) Systeme gebildet sind. Letzteres zeigt sich, wenn in der Anordnung der materiellen Theilchen nach verschiedenen Richtungen Verschiedenheiten obwalten, was bei dem Aether der Fall ist, den Krystalle enthalten, die auf eine von dem Würfel verschiedene Grundgestalt sich beziehen. Im ersten Falle sagt man, der Aether habe nach allen Richtungen einerlei Elasticität; im letzteren aber, die Elasticität des Aethers sey nach verschiedenen Richtungen verschieden. Denkt man sich die ursprüngliche Erschütterung des Aethers auf einen so kleinen Raum eingeschränkt, daß man ihn als einen Punkt betrachten darf, oder was dasselbe heißt, betrachtet man die Erschütterung des Aethers in Distanzen, hinsichtlich welcher die Dimensionen des Raumes, worin die Bewegung ihren Ursprung nahm, als unbeträchtlich erscheinen, und zieht man von dem Erre-

gungspunkte (dem Mittelpunkte der Bewegung) nach allen Richtungen gerade Linien, so liegen die Punkte derselben, in welchen die Erschütterung in irgend einem und demselben Augenblicke anlangt, in einer krummen Fläche, welche die Wellenfläche genannt wird. Diese breitet sich fortwährend aus, sich selber stets ähnlich bleibend. Kann man aber die Größe des Raumes, worin die Bewegung erzeugt wird, nicht vernachläßigen, so betrachte man jeden Punkt desselben als einen Mittelpunkt der Erschütterung, der seine eigene Wellenfläche erzeugt. Der Inbegriff aller dieser einem gegebenen Augenblick entsprechenden Wellenflächen bestimmt den Raum, wohin die Bewegung in diesem Augenblicke vorgedrungen ist.

169. Ist der Aether nach allen Richtungen gleich elastisch, so können sich, wie die analytische Mechanik beweiset (falls überhaupt eine Fortpflanzung der schwingenden Bewegung darin möglich ist), nach jeder gegebenen Richtung nur zweierlei Schwingungsarten fortpflanzen. Entweder schwingen die Aethertheilchen längs dieser Richtung, d. h. sie gehen in geraden Bahnen, die in diese Richtungen fallen, hin und her, und die Schwingung heißt longitudinal, oder sie beschreiben beliebige Bahnen, die in einer auf der Fortpflanzungsrichtung senkrechten Ebene liegen, und die Schwingung heißt transversal. Jeder dieser Schwingungsweisen gehört, da sie mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortgepflanzt werden, eine eigene kugelförmige Wellenfläche. Eine willkürliche Bewegung eines Aethertheilchens kann man hinsichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung in eine longitudinale und in eine transversale zerlegen. Weil beiden Bewegungsarten verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten zukommen, so werden sie sich im ersten Augenblicke trennen und abgesondert fortschreiten. Daher bringt im Allgemeinen eine willkürliche Erschütterung des Aethers, bei dessen hier vorausgesetzter Beschaffenheit, zwei getrennte sphärische Wellen hervor, in deren einer longitudinale, in der anderen transversale Vibrationen Statt finden. Die longitudinalen Schwingungen geschehen, den Ergebnissen der Rechnung gemäß, mit Verdichtungen und Verdünnungen des Aethers; die transversalen sind mit keiner merklichen Aenderung der Dichte verbunden. Die longitudinalen Vibrationen sind entweder, in Folge der besonderen nur transversal vor sich gehenden Schwingungsweise der leuchtenden Körper, gar nicht vorhanden; oder sie sind, wegen des großen Widerstandes, den der Aether jeder Aenderung seiner Dichte entgegensetzt, ganz unmerklich; oder sie sind vorhanden, aber begründen keine Lichterscheinung, denn die Phänomene des Lichtes lassen sich, wie aus den nachfolgenden, auf den Zustand der Polarisation sich beziehenden Betrachtungen erhellen wird, nur mit transversalen Aetherschwingungen, aber mit diesen vollkommen in Einklang bringen.

170. Wendet man die allgemeinen Gleichungen der vibrirenden Bewegung auf den Fall an, wenn der Aether nach verschiedenen Richtungen verschiedene Elasticität besitzt, jedoch dessen Vertheilung überall in je zwei einander gerade entgegengesetzten Richtungen übereinstimmt,

eine Annahme, die sich mit der Bildungsform der zu den verschiedenen einaxigen Systemen (121. 123) gehörenden Krystalle verträgt, so ergibt sich die Folgerung, daß hinsichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung nur dreierlei Schwingungen Statt haben können, bei deren jeder die Aethertheilchen geradlinige Bahnen beschreiben. In der hier gemachten Voraussetzung über die Beschaffenheit des Aethers ist der besondere Fall eingeschlossen, wenn die Vertheilungsweise des Aethers um jeden Punkt nach allen auf eine gewisse gerade Linie senkrechten Richtungen dieselbe ist. Krystalle, bei denen dieß Statt findet, charakterisiren sich als optisch einaxige, und erwähnte Gerade ist die optische Axe. Da finden unter den drei im Allgemeinen möglichen geradlinigen Schwingungsweisen, hinsichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung zwei transversale, auf dieser Fortpflanzungsrichtung senkrechte Statt, welche allein in der Optik Anwendung haben. Die dritte Schwingungsweise existirt entweder nicht, oder sie ist wenigstens mit keiner Wirkung des Lichtes verbunden. Eine der transversalen Schwingungsrichtungen liegt in der Ebene, welche durch die Fortpflanzungsrichtung und durch die dem Erregungsmittelpunkte entsprechende optische Axe geht; die andere aber ist auf diese Ebene senkrecht. Die Wellenfläche für erstere ist ein Rotations-Ellipsoid, dessen Axe mit der optischen Axe zusammenfällt; die Wellenfläche für die andere Schwingungsrichtung aber ist eine mit dem Ellipsoide concentrische und dasselbe in den Endpunkten der Axe berührende Kugelfläche. Jede Schwingungsrichtung ist daher eine Berührungslinie der ihr zugehörenden Wellenfläche. Ist aber diese besondere Vertheilungsweise des Aethers nicht vorhanden, so ist der Krystall, der den Aether enthält, ein optisch zweiaxiger. Von den drei im Allgemeinen möglichen geradlinigen Schwingungsarten erscheinen wieder nur zwei als Licht erzeugend; sie geschehen transversal, aber nur nahe, nicht genau, auf die Fortpflanzungsrichtung senkrecht; die Wellenflächen beider sind die zwei Abtheilungen der Fresnel'schen Fläche (111). Auch hier sind die Schwingungsrichtungen Tangenten der Wellenfläche. Es lassen sich aber noch andere Anordnungen des Aethers, selbst für optisch einaxige Krystalle denken, in welchen lediglich solche transversale Schwingungen fortgepflanzt werden können, bei denen die Aethertheilchen elliptische Bahnen (die kreisförmige als besonderen Fall mit begriffen) beschreiben, worin die Bewegungen in entgegengesetztem Sinne vor sich gehen, nämlich in der einen, vom Mittelpunkte der Welle angesehen, von der Linken gegen die Rechte, und in der zweiten umgekehrt, und zwar entsprechen beiden verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, mithin auch verschiedene Wellen.

171. Ein sehr fruchtbares Hilfsmittel bei der Untersuchung der Fortpflanzung einer Bewegung in einem Systeme materieller Theilchen, von der Art, wie man sich den Aether vorzustellen hat, ist die Zusammensetzung und Zerlegung der Vibrationen. Aus der Form der Grundgleichungen ergibt sich nämlich eine Eigenschaft des Aethers, welche ihrer Einfachheit wegen, auch unabhängig von diesen Gleichun-

gen sich von selbst aufdringt, daß, wenn zwei oder mehrere Bewegungsarten bis zu einem bestimmten Aethertheilchen fortgepflanzt werden, dieses gerade diejenige Bewegung annimmt, welche aus der Zusammensetzung der einzelnen Bewegungen hervorgeht; so wie umgekehrt, jede Schwingungsweise eines Aethertheilchens als das Resultat des Zusammenbestehens jener betrachtet werden darf, in welche die Bewegung des Aethertheilchens zerlegbar ist, und die einzeln genommen in dem Aether hätten fortgepflanzt werden können. Die nächste Folgerung hieraus ist, daß, wie mannigfaltig und unregelmäßig auch immer die Ursache wirken mag, durch welche der Aether in Bewegung versetzt wird, die Bewegung desselben sich stets als das Resultat der Zusammensetzung unendlich vieler, höchst einfacher und regelmäßiger Schwingungsarten darstellt, deren jede einzelne für sich hätte erregt und fortgepflanzt werden können, und die sich bloß durch die Zeit, binnen welcher jede einzelne Schwingung vollbracht wird (in Folge dessen auch durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit), unterscheiden. Hiedurch reducirt sich das ganze Geschäft auf die Betrachtung der Fortpflanzung dieser einfachen Vibrationen, bei welchen, wie aus dem oben Gesagten erhellet, die Aethertheilchen entweder geradlinige oder kreisförmige oder elliptische Bahnen beschreiben. Die elliptische Form der Bahn stellt sich als die allgemeinste dar, weil sie einerseits die Kreisform, als Ellipse ohne Excentricität oder mit gleichen Axen, andererseits die geradlinige, als Ellipse deren kleinere Axe $=0$ geworden ist, in sich begreift. Es darf aber auch die Bewegung in einer Ellipse als das Resultat gleichzeitig vorhandener, nach verschiedenen Richtungen vor sich gehender geradlinigen Bewegungen betrachtet werden, wenn gleich letztere nicht in allen Fällen einzeln fortgepflanzt werden können. Wir wollen nun die Beschaffenheit der einfachen Schwingungen der Aethertheilchen näher ins Auge fassen.

172. Es sey A, Fig. 269, die Ruhelage eines Aethertheilchens, B A B′ die Gerade, längs welcher es hin- und herschwingt, und M ein Punkt dieser Bahn, worin es sich während seines Fortschreitens von A gegen B hin in einem bestimmten Augenblicke befindet. Hier erfährt es durch die Einwirkung der benachbarten Theilchen eine Verzögerung, die mit um so größerer Kraft geschieht, je weiter das sich bewegende Theilchen von A absteht, und endlich, wenn dasselbe bis B gekommen ist, seine Geschwindigkeit ganz aufgehoben hat. Dieselbe Kraft treibt es nun gegen A zurück, und beschleuniget seine Bewegung bis es in A eintrifft, wo die größte Geschwindigkeit Statt findet, die beschleunigende Kraft aber Null ist. Zufolge seiner Trägheit setzt das Theilchen seine Bewegung gegen B′ hin fort, die aber jetzt aus demselben Grunde wie vorhin eine verzögerte ist, bis endlich in B′ die Geschwindigkeit abermal verschwindet, und sodann von B′ gegen A hin wieder eine nach demselben Gesetze, wie bei dem Gange von B gegen A, beschleunigte Bewegung eintritt. Nimmt man $AM' = AM$, so hat das Theilchen in M und M′ stets dieselbe Geschwindigkeit, nur ist die Richtung derselben bei zwei unmittelbar auf einander folgenden Durch-

gängen durch M oder M' eine entgegengesetzte. Der Punkt der Bahn, worin ein Aethertheilchen sich in einem Augenblicke befindet, in Verbindung mit der Richtung, nach der es seine Bewegung fortsetzt, bestimmt den diesem Zeitpunkte entsprechenden Bewegungszustand oder die Phase des Aethertheilchens; die von einem fixen Augenblicke an gezählte Zeit, nach welcher eine gegebene Phase Statt hat, heißt die Phasenzeit; die Zeit, welche zwischen dem Eintreten zweier unmittelbar auf einander folgenden gleichen Phasen verfließt, ist die Dauer einer Schwingung (Undulationszeit); der größte Abstand des Aethertheilchens von seiner Gleichgewichtslage, nämlich AB = AB' heißt die Schwingungsweite (Amplitude), und die größte Geschwindigkeit, die das Theilchen während seiner Schwingung erreicht, nämlich diejenige mit der es in A ankommt, heißt die Intensität der Schwingung. Phasen, in welchen ein Aethertheilchen sich rücksichtlich seiner Gleichgewichtslage in entgegengesetzten Stellungen, wie z. B. M und M' sind, befindet, und zugleich entgegengesetzte Bewegungsrichtungen hat, mithin gleiche und entgegengesetzte Geschwindigkeiten besitzt, heißen entgegengesetzte Phasen, und sind um die Hälfte einer Schwingungsdauer (im Allgemeinen um ein ungerades Vielfache einer halben Schwingungsdauer) von einander entfernt. Aehnliche Benennungen sind auch auf den Fall anwendbar, wenn das Aethertheilchen in einer elliptischen Bahn sich bewegt. Es sey (Fig. 270) BMB'M' eine solche, BB' ihre größere, CC' ihre kleinere Axe, A ihr Mittelpunkt, so ist AB = AB' die Schwingungsamplitude, die Geschwindigkeit in C oder C' ist die Schwingungsintensität, und das Aethertheilchen erscheint, wenn es sich in den Endpunkten M, M' eines Durchmessers der Bahn befindet, in entgegengesetzten Phasen. Geht die Bewegung in dem Sinne CMBM' vor sich, so ist sie in den Quadranten CB, C'B' eine verzögerte, in den Quadranten BC', B'C aber eine beschleunigte. Bewegt sich ein Aethertheilchen in einem Kreise, so ist seine Bewegung gleichförmig, der Halbmesser der Bahn bestimmt die Schwingungsamplitude, und die Geschwindigkeit gibt die Intensität der Bewegung an.

173. Die Bewegung jedes Aethertheilchens bei den so eben betrachteten einfachen Schwingungsweisen ist eine Centralbewegung, wobei die gegen den Mittelpunkt A der Ellipse, des Kreises oder der geraden Linie gerichtete, aus der Gesammtwirkung der benachbarten Theilchen entspringende Centripetalkraft dem Abstande des Aethertheilchens von diesem Mittelpunkte direct proportionirt ist. Hier kann aus diesem Gesetze der Kraft nur das Gesetz der geradlinigen Schwingung abgeleitet werden. Diese stimmt mit der oscillirenden Bewegung eines einfachen schweren Pendels, dessen anfängliche Elongation sehr klein ist, überein, denn auch in diesem Falle steht die Kraft, die den schweren Punkt in seiner Bahn beschleunigt oder zurückhält, mit dem Abstande desselben von der Ruhelage in geradem Verhältnisse. Es sey, unter der Voraussetzung, daß sich das geradlinig schwingende Aethertheilchen im Punkte M, Fig. 269, seiner Bahn BB' befinde, und der Ab-

stand desselben von seinem Orte A im Zustande des Gleichgewichtes nämlich AM durch x, ferner seine Masse durch m vorgestellt werde, die Kraft, welche es afficirt $= h m x$, wobei h einen unveränderlichen Werth hat. Betrachten wir jetzt ein Pendel AB, Fig. 98, welches während seiner schwingenden Bewegung aus der Lage AC in die Lage AM gekommen ist, und setzen wir dessen Länge $AB = l$, die Acceleration der Schwere $= g$ und die Masse des schweren Punktes $= m$, so ist $g m . \sin MAB$ (I. Th. 241) der Ausdruck der denselben gegen B hintreibenden Kraft. Aber das rechtwinkelige Dreieck AMP gibt $\sin MAP = \frac{MP}{AM}$, oder, weil man wegen der Kleinheit des Winkels MAP statt MP auch den Bogen MB, den wir x nennen wollen, ohne merklichen Fehler setzen darf, $\sin MAP = \frac{MB}{AM} = \frac{x}{l}$, daher ist genannte Kraft $= \frac{g}{l} m x$. Denkt man sich demnach die Länge l des Pendels so gewählt, daß $\frac{g}{l} = h$ ist, so stimmt die Bewegung desselben mit jener des Aethertheilchens überein. Wie die am angeführten Orte vorgetragene Deduction lehrt, ist die Zeit t, binnen welcher der schwere Punkt von M nach B kommt, $= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} . \frac{KB}{EB} = \frac{1}{\sqrt{h}} . \frac{KB}{DB}$, folglich $\frac{KB}{DB} = t\sqrt{h}$. Dieses Resultat läßt sich benützen, um sowohl den Weg $MB = x$ als auch die in M Statt findende Geschwindigkeit des Pendelpunktes, die v heißen mag, durch die Zeit t auszudrücken. Es ist nämlich (s. S. 167) $MP^2 = 2l . BP$, mithin, weil man MP mit MB oder x verwechseln darf, $x^2 = 2l . BP$. Eben so hat man, wenn man den Bogen CB durch a bezeichnet, wegen der Kleinheit der anfänglichen Elongation, $a^2 = 2l . DB$. Hieraus folgt $2l = \frac{a^2}{DB}$, daher $x^2 = \frac{a^2 BP}{DB}$. Denkt man sich im Halbkreise DKB die Sehne KB gezogen, deren Benennung wir, um sie vom Bogen KB zu unterscheiden, durch einen darüber gesetzten Strich kenntlich machen, so ist $BP = \frac{\overline{KB}^2}{DB}$. Hiedurch wird $x^2 = \frac{a^2 . \overline{KB}^2}{DB^2}$ mithin $x = \frac{a . \overline{KB}}{DB}$. Aber der Quotient $\frac{\overline{KB}}{DB}$ ist, wenn man sich die Sehne KD gezogen denkt, der Sinus des Winkels KDB (den Halbmesser $= 1$ gesetzt) und der Quotient $\frac{KB}{DB}$ ist der Ausdruck des zwischen den Schenkeln dieses Winkels mit dem Halbmesser $= 1$ beschriebenen Bogens, daher haben wir $\frac{\overline{KB}}{DB} = \sin \frac{KB}{DB}$. Es besteht daher die Gleichung

$$x = a \sin (t\sqrt{h}).$$

Auf demselben Wege erhält man, weil $v = \sqrt{2g.\overline{DP}}$ ist (s. S. 167), und, wenn man die in B Statt findende größte Geschwindigkeit des Pendelpunktes c nennt, eben so die Gleichung $c = \sqrt{2g.\overline{DB}}$ besteht, $v = c\sqrt{\frac{\overline{DP}}{\overline{DB}}} = c\frac{\overline{DK}}{\overline{DB}} = c \cos \frac{KB}{DB}$, d. h. $v = c \cos (t\sqrt{h})$. Hätte man v mit a statt c verglichen, so hätte man an die Stelle des Factors c in dieser Formel die Größe $a\sqrt{\frac{g}{l}} = a\sqrt{h}$ erhalten. Es ist demnach $c = a\sqrt{h}$. Bezeichnet man die Dauer einer Doppelschwingung des Pendels durch T, so ist $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{h}}$, mithin $\sqrt{h} = \frac{2\pi}{T}$. Hiedurch verwandeln sich die so eben gefundenen Formeln in

$$x = a \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) \text{ und } v = c \cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right), \text{ und es ist } c = \frac{2\pi a}{T}.$$

Diese Formeln gelten, dem oben Gesagten gemäß, auch für die Bewegung eines geradlinig oscillirenden Aethertheilchens, wobei x den Abstand desselben von seiner Gleichgewichtslage am Ende der Zeit t, v seine Geschwindigkeit, a die Amplitude, c die Intensität und T die Dauer der Schwingung vorstellt. Die durch dieselben dargebotenen Resultate lassen sich folgendermaßen aussprechen: Nimmt man auf der Peripherie eines Kreises, dessen Halbmesser = 1 ist, einen Bogen, der sich zur ganzen Peripherie verhält, wie die Phasenzeit zur Schwingungsdauer, so verhält sich der Abstand des Aethertheilchens zur Amplitude, wie der Sinus dieses Bogens zur Einheit, und die Geschwindigkeit des Aethertheilchens zur Schwingungsintensität, wie der Cosinus desselben Bogens zur Einheit.

174. Aus diesen Formeln ergeben sich sehr wichtige Resultate in Hinsicht auf die Zusammensetzung der schwingenden Bewegungen. Wir beschränken uns hier auf folgende zwei: 1) Ist ein Aethertheilchen gleichzeitig zwei geradlinigen oscillirenden Bewegungen von einerlei Schwingungsdauer unterworfen, deren Richtungen einen Winkel bilden, und deren Phasen übereinstimmen, so entspringt daraus wieder eine geradlinige Schwingung von derselben Dauer, deren Amplitude und Schwingungsintensität durch die Diagonale der Amplituden und Schwingungsintensitäten der Componenten ausgedrückt wird. Es sey nämlich AB, Fig. 271, die Amplitude und Richtung der einen, AB′ jene der andern Componente, so erreicht das oscillirende Theilchen, weil es den Componenten zu Folge in demselben Augenblicke in B und B′ gewesen wäre, durch das Zusammenwirken beider in diesem Augenblicke den Endpunkt C der Diagonale des Parallelogramms, dessen Seiten AB und AB′ sind. Es beschreibt aber auch diese Diagonale. Denn befindet es sich am Ende der Zeit t den Componenten gemäß in M und M′, so ist $AM = AB \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$, $AM' = AB' \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)$, mithin $AM : AM' = AB : AB'$. Es liegt daher der Endpunkt N der Diagonale AN des Parallelogramms, dessen Seiten AM und AM′ sind,

mit A und C in einerlei Richtung. 2) Ist ein Aethertheilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Schwingungen von einerlei Dauer unterworfen, deren Amplituden, mithin auch die Schwingungsintensitäten gleich sind, deren Phasenzeiten aber um ein Viertel der Schwingungsdauer unterschieden sind, und deren Richtungen einen rechten Winkel bilden, so ist die resultirende Schwingung eine kreisförmige, deren Halbmesser die gemeinschaftliche Amplitude ist, und welche mit einer der gemeinschaftlichen Schwingungsintensität gleichen Geschwindigkeit vor sich geht. Es seyen AM und AM′, Fig. 272, die Abstände des Aethertheilchens von der Ruhelage A in Folge der beiden Bewegungen, t, t′ die Phasenzeiten, so ist $AM = a \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$, $AM' = a \sin\left(2\pi \frac{t'}{T}\right)$. Aber es soll $t' - t = \frac{1}{4}T$, d. h. $t' = \frac{1}{4}T + t$ seyn, dieß gibt

$$AM' = a \sin\left(\frac{\pi}{2} + 2\pi \frac{t}{T}\right) = a \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right),$$

mithin $AN^2 = AM^2 + MN^2 = AM^2 + AM'^2 = a^2$, daher $AN = a$. Es ist also der Abstand des Aethertheilchens vom Punkte A während der ganzen Bewegung unveränderlich und $= a$, wodurch erwiesen ist, daß es einen Kreis vom Halbmesser a beschreibt. Eben so läßt sich zeigen, daß die Geschwindigkeit der Bewegung $= c$ ist. Beträgt der Phasenunterschied der Componenten mehr oder weniger als ein Viertel der Schwingungsdauer, oder sind die Amplituden derselben ungleich, so entsteht eine elliptische Schwingung.

175. Die Anwendung der hier vorgetragenen theoretischen Bestimmungen auf die Phänomene des Lichtes ist eben so einfach als genügend. Die Fortpflanzungsrichtung der schwingenden Bewegung des Aethers ist das, was man einen Lichtstrahl nennt. Die Intensität des Lichtes muß man, um die Phänomene, so wie sie die Erfahrung gibt, darzustellen, dem Quadrate der Amplitude oder was damit übereinstimmt, dem Quadrate der Schwingungsintensität proportionirt setzen. Homogenes Licht ist jenes, das durch einfache Schwingungen hervorgebracht wird. Die Farbe hängt von der Schwingungsdauer ab. Die Aetherschwingungen, in welchen das Licht besteht, geschehen transversal, d. h. senkrecht oder nahe senkrecht gegen die Richtungen der Strahlen. Polarisirtes Licht ist jenes, welches auf geradlinigen, kreisförmigen oder elliptischen Schwingungen beruht, und die Art der Polarisation wird durch die Benennung der Schwingungsweise angezeigt. Hinsichtlich der Lage der Richtung der Vibration gegen die Polarisationsebene des geradlinigen polarisirten Lichtes sind die Theoretiker nicht gleicher Meinung. In der That lassen sich die bis jetzt betrachteten Erscheinungen eben so gut erklären, wenn man mit Fresnel annimmt, die Polarisationsebene stehe senkrecht gegen die Richtung der Vibrationen, als wenn man, wie Cauchy und Neumann zuerst gethan haben, annimmt, die Vibrationen erfolgen in der Polarisationsebene. Die Interferenz des Lichtes ist die Zusammensetzung der schwingenden Bewegungen, welche gleichzeitig auf dasselbe Aethertheilchen übertragen werden. Gemeines (unpolarisirtes)

Licht ist jenes, bei dessen Fortpflanzung die Aethertheilchen ganz unregelmäßige, nicht mit einander übereinstimmende Bahnen beschreiben; es kann als eine rasche Aufeinanderfolge von Zusammensetzungen geradliniger Schwingungen, die in allen möglichen Richtungen Statt finden, betrachtet werden. Aus den in 169, 170 angeführten Ergebnissen der Gleichungen der schwingenden Bewegung erhellet, daß unpolarisirtes Licht nur im freien Aether oder in unkrystallinischen oder in tessular-krystallisirten Medien fortgepflanzt werden kann, während krystallisirte, jedoch nicht tessulare Medien nur polarisirtes Licht fortzupflanzen vermögen, mithin unpolarisirtes in sie eindringendes Licht in polarisirte Strahlen zerlegen. Auch sieht man, daß rechtwinkelig gegen einander polarisirte Strahlen (solche, deren Schwingungsrichtungen einen rechten Winkel bilden) sich nicht zu schwächen vermögen. Aus ihrer Interferenz entspringt nämlich im Allgemeinen elliptisch-, unter besonderen Umständen auch geradlinig- oder circular-polarisirtes Licht, womit auch die Erfahrung übereinstimmt.

176. Die **Interferenz** des Lichtes, deren Erklärung der Emanationstheorie ein unübersteigliches Hinderniß entgegensetzt, ist eine so einfache und nothwendige Folge der Undulationstheorie, daß sie auch in der That von **Young** mittelst dieser Theorie erkannt und gleichsam vorhergesagt wurde. Die Bedingung, unter welcher zwei in einem Punkte zusammentreffende Strahlen einander völlig aufheben, ist daß das nächst diesem Punkte befindliche Aethertheilchen, in Folge des längs dieser Strahlen Statt findenden Fortschreitens der schwingenden Bewegung genöthiget werde, mit gleicher Intensität verknüpfte Schwingungen nach gerade entgegengesetzten Richtungen gleichzeitig auszuführen. Da die Richtungen der Aethervibrationen in der Luft auf den Richtungen der Strahlen senkrecht stehen, so ist klar, daß zur völligen Aufhebung des Lichtes die Coincidenz der Strahlen erfordert wird; doch kann die Intensität des Lichtes auf einen für unser Auge unmerklichen Grad herabgesetzt werden, wenn nur die Richtungen der Strahlen einen sehr spitzen Winkel bilden, wobei, unter den gehörigen Umständen, die Schwingungsrichtungen einander nahe entgegengesetzt ausfallen.

177. Es liegt in der Natur der Fortpflanzung der schwingenden Bewegung, daß der Bewegungszustand, der einem auf dem Wege eines Lichtstrahles vorfindigen Aethertheilchen in einem bestimmten Augenblicke zukommt, in folgenden Augenblicken den nach der Richtung des Lichtstrahles hin liegenden nächsten Theilchen eigen ist. Je nachdem die Intensität des Lichtes dabei abnimmt, oder die Abnahme derselben unmerklich ist, nehmen die Dimensionen der Bahnen der Aethertheilchen ab, oder sie bleiben ungeändert. Letzteres kann offenbar nur in so fern Statt finden, als das Licht in Distanzen betrachtet wird, die in Vergleichung mit dem von der Quelle an zurückgelegten Wege als sehr klein gelten dürfen. Jederzeit aber sind die Bahnen der Aethertheilchen längs desselben Lichtstrahles einander ähnlich, und die Schwingungsdauer bleibt dieselbe. Man sagt zwei Aethertheilchen befinden

sich *in gleichen Phasen*, wenn ihre Positionen in ihren Bahnen homolog sind. Offenbar erscheinen benachbarte, in der Richtung eines Lichtstrahles vorhandene Aethertheilchen in demselben Augenblicke in verschiedenen Phasen, und zwar das von dem Ursprunge des Lichtes entferntere mit dem anderen verglichen in einer um so späteren Phase, je größer die Distanz dieser Theilchen ist. Beträgt der Phasenunterschied eine ganze Umlaufszeit oder ein Vielfaches derselben, so stimmen die Phasen der Theilchen überein. Die kleinste Distanz zweier Aethertheilchen, die sich in demselben Augenblicke in einerlei Phase befinden, heißt *Wellenlänge*. Sie ist nothwendig dem Wege gleich, den das Licht während einer Schwingung eines Aethertheilchens zurücklegt. Ist daher L die Wellenlänge, V die Geschwindigkeit des Lichtes in der Richtung eines gegebenen Strahles, und T die Schwingungsdauer, so besteht die Gleichung $L = VT$. Innerhalb einer Wellenlänge stehen die Aethertheilchen in einem gegebenen Augenblicke nach der Ordnung in Phasen, die während einer Vibration auf einander folgen. Zwei Aethertheilchen, deren Abstand die Hälfte der Wellenlänge beträgt, erscheinen in demselben Augenblicke in entgegengesetzten Phasen. Ueberhaupt sind die Phasen zweier Aethertheilchen gleich, wenn die Entfernung derselben ein Vielfaches der Wellenlänge, und ihre Phasen sind entgegengesetzt, wenn ihre Entfernung ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge ausmacht.

178. Mit Hilfe dieser Sätze läßt sich leicht einsehen, daß zwei unpolarisirte oder auf einerlei Weise polarisirte Strahlen, deren Richtungen zusammenfallen oder wenigstens einen sehr kleinen Winkel einschließen, und deren Längen, von dem Ursprunge des Lichtes an gerechnet, sich genau um eine oder mehrere Wellenlängen unterscheiden, bei ihrem Zusammentreffen sich verstärken, und zwar eine Intensität der Schwingung hervorbringen, die der Summe ihrer eigenen Intensitäten gleichkommt. Unterscheiden sich aber die Wege der Lichtstrahlen um die Hälfte oder um ein ungerades Vielfaches der Hälfte der Wellenlänge, so schwächen sich dieselben, und die Intensität der Schwingung ist dem Unterschiede der Intensitäten der Strahlen gleich. Haben beide Strahlen einerlei Intensität, so heben sie sich hiebei wechselseitig auf, und es findet keine Wirkung des Lichtes Statt.

179. Bei der Fortpflanzung des Lichtes ist der Vibrationszustand, in welchen von der Lichtquelle entferntere Aethertheilchen gerathen, eine Folge der vorausgegangenen Erschütterung näherer Theilchen. Man kann daher letztere in Bezug auf erstere als Lichtquellen betrachten. Der Zustand dieser stellt sich dabei als das Resultat der Interferenz der Wellen dar, die von jenen, als Schwingungsmittelpunkten, ausgegangen sind. Hiedurch erlangt die Interferenz des Lichtes für die Erklärung der Phänomene eine Wichtigkeit, die selbe zur Würde des obersten Principes der physikalischen Optik erhebt. In der That ist, wie *Fresnel*, unter dessen Händen dieses Princip seine wahre Anwendung zuerst gefunden, nachgewiesen hat, die Beugung und geradlinige Fortpflanzung, die Reflexion und Brechung des Lichtes, wie

auch jede der mannigfaltigen Erscheinungen durchsichtiger Substanzen in polarisirtem Lichte, ja selbst der Act der Polarisation in der weitesten Bedeutung des Wortes ein Ergebniß der Interferenz der Elementarwellen, die von den einzelnen Punkten einer bereits vorhandenen Welle ausgehen, und sich zu neuen wirksamen Wellen zusammensetzen. Nachfolgende Darstellung der vorzüglichsten Anwendungen des Interferenzprincips auf die wichtigsten der erwähnten Erscheinungen wird die Richtigkeit dieses Ausspruches bekräftigen, und zugleich den hohen Werth der Undulationstheorie fühlbar machen.

180. Erklärung der Beugung des Lichtes. Es sey AB, Fig. 273, der Durchschnitt eines mit einer engen Spalte CD versehenen Schirmes mittelst einer Ebene, die senkrecht gegen die parallelen Ränder der Spalte gelegt wurde. Von einem leuchtenden Punkte falle gleichartiges Licht senkrecht auf die Oeffnung CD aus einer solchen Entfernung, daß alle diese Oeffnung treffenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen. In jedem Augenblicke tritt in die Oeffnung CD eine neue Welle ein, von deren Krümmung wir aus dem angeführten Grunde abstrahiren, d. h. die wir als eben ansehen. Alle Aethertheilchen in der Richtung CD werden in jedem Augenblicke von einer Welle gemeinschaftlich ergriffen, sie sind daher in demselben Augenblicke in einerlei Vibrationsphase. Errichten wir in dem Halbirungspunkte E der CD in der Ebene des Schnittes eine Senkrechte EF, ziehen wir ferner durch den von E in einer bedeutenden Entfernung abstehenden Punkt F eine Parallele MN zu AB, und betrachten wir diese als den Durchschnitt einer Tafel, auf der das Beugungsphänomen, welches die Folge des Durchganges des Lichtes durch die Spalte CD ist, sich zeigen soll. Von allen in der Oeffnung CD vorhandenen Aethertheilchen gehen in jedem Augenblicke nach allen Richtungen Elementarstrahlen aus, in welchen (da wir hier nur den Hergang des Phänomens in der Luft betrachten) das Licht mit einerlei Geschwindigkeit fortgepflanzt wird. Hiebei wird die Phase, in der sich jedes der genannten Aethertheilchen befindet, auf alle dasselbe umgebenden Aethertheilchen übertragen. Treffen nun in einem Punkte der Tafel MN, z. B. in dem Punkte G, Schwingungen zusammen, die verschiedene Wege wie CG, EG, DG zurückgelegt haben, so sind dieselben von den Punkten C, E, D nicht in demselben Augenblicke ausgegangen, sondern die Schwingung, die von C herrührt, ist, da sie einen längern Weg CG zurückzulegen hatte, früher ausgegangen, als die von E herrührende, und diese wieder früher, als die von D erzeugte. Deßhalb befinden sich diese Schwingungen im Augenblicke ihres Zusammentreffens in G in verschiedenen Phasen, nämlich die Schwingung, welche das Aethertheilchen in C lieferte, in einer frühern als die von E, und diese wieder in einer früheren als die von D herkommt. Aehnliche Betrachtungen gelten von den Schwingungen, welche die übrigen Aethertheilchen innerhalb der Oeffnung CD nach G senden. Aus der Interferenz aller dieser Vibrationen geht eine Intensität des Lichtes in G hervor, die nach der Position

dieses Punktes auf der Tafel MN wechselt. Wir wollen nun diese Intensität an verschiedenen Stellen der Tafel MN näher ins Auge fassen. Im Punkte F kommen Vibrationen zusammen, die sich sämmtlich in wenig von einander abweichenden Phasen befinden, weil wegen der größeren Entfernung der Tafel MN vom Schirme AB im Vergleiche gegen CD, der Unterschied zwischen CF und EF nur äußerst gering ist. Diese Vibrationen unterstützen einander und bringen in F eine Schwingungsintensität zu Stande, die der Summe der einzelnen Schwingungsintensitäten nahe gleich kommt, womit auch die Lichtintensität eine Steigerung erfährt. In F ist daher diese Intensität am größten. Schreitet man von da nach der einen oder der anderen Seite der Tafel MN fort, so nimmt die Intensität des Lichtes ab. Je weiter man kommt, desto beträchtlicher wird die Differenz der äußersten Strahlen wie CG und DG, welche Differenz an der Stelle F gleich Null war. Sobald diese Differenz der Wellenlänge L gleich geworden ist, was jedoch wegen $CG - DG < CD$ nur dann eintreten kann, wenn die Breite der Spalte CD wenigstens die Größe von L übertrifft, hat man eine Stelle erreicht, in welcher völlige Aufhebung des Lichtes Statt findet. Es sey nämlich die Position des Punktes G von der Art, daß $CG - DG = L$ ist, so ist sehr nahe $CG - EG = \frac{1}{2} L$, und überhaupt wenn α und β Punkte sind, deren ersterer von C so weit absteht als β von E, ist sehr nahe $\alpha G - \beta G = \frac{1}{2} L$. Man kann daher für jedes Theilchen zwischen C und E ein Theilchen zwischen E und D angeben, welches eine Schwingung nach G sendet, die sich rücksichtlich der vom ersteren ausgehenden in entgegengesetzter Phase befindet, mithin dieselbe aufhebt. Dasselbe ereignet sich im Punkte G′, wenn die Differenz der Strahlen CG′ und DG′ das Doppelte der Wellenlänge L beträgt. Dann kann man nämlich auf CE und ED wegen $CG' - EG = L$ und $EG' - DG' = L$ das so eben Gesagte anwenden. Dieselbe Bewandtniß hat es, wenn der Punkt G″ so liegt, daß $CG'' - DG'' = 3L$ ist u. s. w. In den Punkten G, G′, G″... auf beiden Seiten von EF wird dem gemäß Dunkelheit herrschen. Zwischen G und G′ wächst die Intensität des Lichtes bis zu einem gewissen Grade, und nimmt sodann wieder ab; ein Gleiches ist zwischen G′ und G″ der Fall u. s. w. Beschreibt man aus G mit dem Halbmesser GD den Bogen DH, so ist $CH = CG - DG$. Läßt man diesen Bogen für eine gerade Linie gelten, die auf GE senkrecht steht, so ist der Winkel $CDH = FEG$, mithin, wenn man letzteren Winkel durch φ bezeichnet, $\sin\varphi = \frac{CH}{CD}$. Setzt man nun die Breite der Spalte $CD = a$ und $CG - DG = nL$, wobei n eine ganze Zahl vorstellt, so ist $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$. Mittelst dieser Formel läßt sich, wenn L bekannt ist, der Ablenkungswinkel der Stellen, wo Dunkelheit herrscht, von der Mittellinie der Erscheinung berechnen. Ist die Spalte so eng, daß $a < L$ wird, so gibt diese Formel $\sin\varphi > 1$ was unmöglich ist; in diesem Falle herrscht nirgends auf MN Dunkelheit. Ist aber a in

Vergleich mit L groß, folglich $\frac{L}{a}$ klein, so kann man statt des Sinus von φ den Bogen selbst setzen, also $\varphi = \frac{n L}{a}$. Diese Gleichung gibt das in 142 angeführte Gesetz hinsichtlich der Abstände der gleichnamigen Stellen der Farbenbilder. Umgekehrt läßt sich, wenn φ durch Beobachtung gegeben ist, L finden, denn man hat $L = \frac{a \sin \varphi}{n}$. Hier wurden bloß die Strahlen, welche in der Schnittebene ABNM liegen, berücksichtiget. Es ist aber für sich klar, daß dieselben Schlüsse auch auf die Strahlen ausgedehnt werden können, welche von einem höheren oder tieferen Querschnitte ausgehend auf G fallen. Statt der Tafel MN kann man sich auch das Feld denken, welches die durch eine Loupe zu betrachtenden Gegenstände enthält. Wendet man zur Beobachtung der Erscheinung nach Fraunhofer ein gutes Fernrohr an, vor dessen Objectiv der Schirm mit der Spalte steht, und dessen Ocular so gerichtet ist, daß man den leuchtenden Punkt an der Heliostatöffnung deutlich sieht, so kann man ohne merklichen Fehler die das Objectiv treffenden Strahlen als parallel gelten lassen. Alle Elementarstrahlen, welche nun von der Spalte nach was immer für parallelen Richtungen zu dem Objectiv gelangen, vereinigen sich in einem Punkte der in dem diesen Richtungen parallelen Hauptstrahle in der Bildweite des Objectivs liegt, und haben dabei (wie aus der später folgenden Theorie der Brechung des Lichtes zu ersehen seyn wird) die Phasen, mit welchen sie in irgend einer vor dem Objective auf den Hauptstrahl senkrecht gelegten Ebene eintreffen. Auf dieser Eigenschaft des Fernrohres beruht der Umstand, daß die Höhe der Beugungsspectra nicht größer ist als die scheinbare Höhe der kleinen Oeffnung am Heliostate, von welcher das Licht kommt, weßwegen man diese Oeffnung mit einer Spalte verwechseln muß, um die Spectra mit einiger Höhe zu erhalten. Ihre Höhe wird dann der scheinbaren Höhe der Spalte am Heliostate gleich.

Erwägt man diese Erklärung des hier betrachteten Beugungsphänomens nach allen ihren Theilen, so begreift man erst recht die Unmöglichkeit, mittelst der Emanationshypothese eine haltbare Erklärung desselben zu Stande zu bringen. Denn das Hauptbilfsmittel dieser Erklärung (ohne welches ihr Ergebniß mit der Erfahrung in Widerspruch stehen würde, während sie mit ihm der Erfahrung auf das vollkommenste genügt) ist die Annahme, daß jeder Punkt innerhalb der beugenden Oeffnung nach allen Richtungen Elementarstrahlen sendet, deren Interferenz das Phänomen erzeugt. Wollte man nun auch, um eine theoretische Deutung der Interferenz zu erzwingen, den Lichttheilchen periodische Anwandlungen zuschreiben, oder zu Zusammensetzungen der durch die Stöße der Lichttheilchen hervorgerufenen Schwingungen der Netzhaut des Auges, oder zu was immer für einem anderen jedenfalls wenig natürlichen hypothetischen Grunde seine Zuflucht nehmen, so kann man doch ein Ausgehen von Lichttheilchen von jedem Punkte eines Lichtstrahles nach allen Seiten nicht unbedingt zugeben, sondern nur in sofern ein lichtbeugendes Object vorhanden ist,

das durch Molekularkräfte diesen Effect hervorbringt. Diesen wird man aber aus dem Spiel solcher Kräfte kaum herleiten können, und überdieß mit den großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, die bereits oben S. 377 angedeutet wurden.

181. Es seyen im Schirme AB (Fig. 274) zwei einander nahe gleiche und parallele Spalten CD, C′D′ angebracht. Fallen wie vorhin homogene Lichtstrahlen senkrecht auf AB, so wird jede der Oeffnungen CD, C′D′ für sich das vorhin betrachtete Phänomen veranlassen. Liegen daher die Punkte G, G′, G″.. auf der Tafel MN oder im Gesichtsfelde des Fernrohres, so daß für sie hinsichtlich der Oeffnung CD, $\sin\varphi = \frac{L}{a}, = \frac{2L}{a}, = \frac{3L}{a}\ldots$ ist, wobei φ, L und a die frühere Bedeutung haben, so wird, in sofern man bloß diese Oeffnung wirksam denkt, in G, G′, G″... Dunkelheit herrschen. Eben solche Punkte werden sich in Bezug auf das durch die Oeffnung C′D′ gehende Licht ergeben. Wendet man zur Beobachtung des Beugungsphänomens ein Fernrohr an, so fallen diese Punkte offenbar mit den früheren zusammen (ein Grund, der nebst anderen den Gebrauch des Fernrohres empfiehlt). Auf einer Tafel dagegen sind sie um die Größe des Intervalls CC′ getrennt, und fallen daher, wenn DC′ klein ist, sehr nahe an einander, so daß die den beiden Oeffnungen gehörenden dunklen Stellen im ersten Falle genau, im letzteren beinahe einander decken und übereinstimmend wirken. Nicht so ist es aber bei den lichten Stellen, denn es kommen noch durch die Interferenz der Elementarstrahlen, die von CD ausgehen, mit jenen die in C′D′ ihren Ursprung haben, Effecte zu Stande, welche die vorgenannten modificiren. Liegt nämlich der Punkt g auf MN so, daß die Differenz Cg — C′g der Hälfte der Wellenlänge, d. i. $\frac{1}{2}$L, gleich kommt, so werden alle Strahlen, die von CD nach g gelangen, durch die von C′D′ dahin gesendeten getilgt, denn für zwei Punkte γ, γ', deren einer in CD der andere in C′D′ so liegt, daß $C\gamma = C'\gamma'$ ist, hat die Differenz $\gamma g - \gamma' g$ wegen der Kleinheit von CD, C′D′ hinsichtlich des Abstandes der Tafel MN von AB sehr nahe den Werth $\frac{1}{2}$L, mithin gibt es für jeden Strahl von CD einen von C′D′, der nach g in jedem Augenblicke die entgegengesetzte Phase von der hinbringt, die das dort befindliche Aethertheilchen in demselben Augenblicke durch den ersteren Strahl erhält, wornach in g kein Licht Statt hat. Dasselbe gilt von den Punkten g′, g″ rc., wenn $Cg - C'g' = \frac{3}{2}L$, $Cg'' - C'g'' = \frac{5}{2}L$ ist u. s. w. Heißt der Winkel, um den jeder nach einem der Punkte g, g′, g″ rc. gehende Strahl von der Senkrechten auf AB abweicht, ψ, so besteht zur Bestimmung der Position dieser Punkte die Gleichung $\sin\psi = \frac{uL}{2b}$, wobei u eine ungerade ganze Zahl, und b die Distanz CC′, oder was dasselbe ist, die Distanz der Mitten der Spaltöffnungen vorstellt, welche Gleichung auf dieselbe Weise wie die in 180 abgeleitete gefunden wird. In der Mitte zwischen je zwei benachbarten der Punkte g, g′, g″... findet die größte Lichtstärke Statt; die Oerter derselben werden durch die

Gleichung $\sin\psi' = \frac{mL}{b}$ gegeben, worin m eine ganze Zahl ist. Die hier angestellten Betrachtungen und erhaltenen Formeln passen auch auf den Fresnel'schen Interferenzversuch, wenn unter b die Distanz der beiden Bilder verstanden wird. Die Größe, welche wir in 155 durch ω vorgestellt haben, ist mit L einerlei.

182. Enthält der Schirm drei oder mehrere gleiche, parallele und gleichweit von einander abstehende Spalten, so entsteht im homogenen Lichte ein Beugungsphänomen, demjenigen ähnlich, welches eine einzelne der Oeffnungen für sich gegeben hätte, und aus dem Zusammenfallen der den einzelnen Oeffnungen zukommenden entspringen. Die dunklen Stellen desselben werden durch die Gleichung $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$ gegeben, wobei a die Breite einer Oeffnung bedeutet. Außerdem aber wirken die von den einzelnen Oeffnungen herrührenden Strahlen auf einander wechselweise ein, und vernichten sich an gewissen Stellen. Es seyen z. B. fünf Oeffnungen vorhanden. Man nehme auf der Tafel MN, Fig. 275, einen Punkt g, so daß die Differenz

$$Cg - C'g = C'g - C''g = C''g - C'''g = C'''g - C^{IV}g$$

den fünften Theil der Wellenlänge ausmacht, d. i. $= \frac{1}{5}L$ ist, so herrscht in g Dunkelheit. Denn nehmen wir an, das vom Punkte C nach g in irgend einem Augenblicke gesendete Licht befinde sich in einer gewissen Phase, so ist die Phasenzeit des Lichtes, welches in demselben Augenblicke von C' nach g kommt, um den fünften Theil der Schwingungsdauer $= \frac{1}{5}T$ gegen erstere voraus; das von C'', C''', C^{IV} herrührende Licht ist der Phase nach, im Vergleiche gegen das von C in g eintreffende, um $\frac{2}{5}T$, $\frac{3}{5}T$, $\frac{4}{5}T$ voraus, diese fünf Strahlen heben nun entweder einander auf, oder sie bringen eine Schwingung des Aethertheilchens in g hervor, deren Undulationsdauer keine andere als T seyn kann (173), und vermöge welcher das Aethertheilchen in dem genannten Augenblicke in einer gewissen Phase ist. Wird letzterer Fall als möglich angenommen, so kehrt diese Phase nach der Zeit $\frac{1}{5}T$ wieder zurück. Denn das Licht, welches nach dieser Zeit von C zu g gelangt, entspricht einem Fortschritte in der Schwingung um $\frac{1}{5}T$, weßwegen seine Phase jetzt genau die ist, welche in dem vorigen Zeitpunkte dem von C' nach g gesendeten Lichte angehörte. Ferner nimmt C' die frühere Phase von C'', C'' jene von C''', C''' jene von C^{IV}, endlich C^{IV}, weil wegen des periodischen Umlaufes ein Fortschritt um $\frac{1}{5}T$ in dieselbe Phase führt, wie ein Rückschritt um $\frac{4}{5}T$, jene von C an. Es ist also nur die Ordnung nicht die Größe der Phasen der fünf interferirenden Lichtstrahlen geändert, mithin muß das Resultat der Interferenz das vorige bleiben. Eben so kann man zeigen, daß dieses Resultat nach dem Verlaufe eines neuen Fünftels der Zeit T wiederkehrt u. s. w. Es wäre also durch das Zusammenwirken der genannten Strahlen eine Undulation entstanden, bei welcher dieselbe Phase wenigstens nach Verlauf von $\frac{1}{5}T$ wieder kommt, mithin wäre die Undulationsdauer geändert und wenigstens auf $\frac{1}{5}T$ herabgesetzt,

was nicht seyn kann. Es bleibt somit nur der Fall des Aufhebens der Undulation selbst als zuläßig übrig. Auf dieselbe Art läßt sich zeigen, daß sich die fünf Strahlen, die von anderen aber ähnlich liegenden Punkten in CD, C′D′, C″D″ ꝛc. herkommen, gegenseitig vernichten. Es herrscht also in g Dunkelheit. Eben entsteht in g′ Dunkelheit, wenn $Cg' - C'g' = \frac{1}{5} L$ ist, und in g″, wenn $Cg'' = C'g'' = \frac{2}{5} L$ ist u. s. w. Dagegen wird in G volles Licht seyn, wenn $CG - C'G = L = \frac{5}{5} L$ ist, denn da treffen von ähnlich liegenden Punkten der Oeffnungen die Strahlen in einerlei Augenblick in gleichen Phasen zusammen, und verstärken sich. Eben dasselbe tritt in G′ ein, wenn $CG' - C'G = 2 L$ ist u. s. w. Dagegen wird in den Punkten, für welche die Strahlendifferenz in Bezug auf ähnlich liegende Punkte benachbarter Oeffnungen $\frac{6}{5} L$ oder $\frac{7}{5} L$ u. s. w. ist, Dunkelheit obwalten. Es werden daher die dunklen Stellen noch durch die Formel $\sin \psi = \frac{q L}{r b}$ gegeben, wobei q eine ganze durch die Anzahl r der Oeffnungen nicht theilbare Zahl, und b den Abstand der Mittelpunkte zweier nächsten Oeffnungen vorstellt; den durch die Formel $\sin \psi' = \frac{m L}{b}$, worin m eine ganze Zahl ist, angezeigten Stellen aber entsprechen Maxima des Lichts. Vergleicht man die Resultate dieser Erklärung mit der Beschreibung der Beugungsphänomene in 145, so zeigt sich die vollkommenste Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung.

183. Geht homogenes Licht senkrecht durch ein Gitter mit sehr vielen einander nahen gleichen Spalten, deren Abstände gleich sind; so wird in der Formel für die dunklen Stellen der Spectra der dritten Classe $\sin \psi = \frac{q L}{r b}$, $r = \infty$, mithin herrscht überall Dunkelheit, außer wo die durch die Formel $\sin \psi' = \frac{m L}{b}$ angegebenen lichten Stellen hinfallen. Hieraus erklärt sich das in 146 beschriebene Phänomen. Dieses läßt sich, wenn ψ' genau gemessen wird, zur Bestimmung von L gebrauchen, wie Fraunhofer gethan hat. Man erhält nämlich $L = \frac{b \sin \psi'}{m}$. Auf diese Weise fand Fraunhofer für die Strahlen nächst den Stellen C, D, E, F, G, H im Farbenbilde (S. 268) folgende Werthe der Wellenlänge in der Luft in Hunderttausendtheilen eines Pariser Zolles.

Wellenlänge für C = 2422
D = 2175
E = 1945
F = 1794
G = 1587
H = 1464.

Die ungemeine Kleinheit der Wellenlängen des Lichtes im Vergleiche mit dessen ungeheurer Fortpflanzungsgeschwindigkeit, läßt auf eine außerordentliche Kleinheit der Schwingungsdauer, mithin auf eine über alle

Vorstellung große Menge von Schwingungen in einer Zeitsecunde schließen. Es hängt nämlich die Wellenlänge L mit der Schwingungsdauer T und mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit V der Wellen durch die Gleichung $L = V\,T$ zusammen. Bezieht sich die Angabe von V auf eine Secunde, wornach auch T durch die Secunde zu messen ist, so gibt $\frac{1}{T}$ die Anzahl der Schwingungen N in einer Secunde, mithin ist $N = \frac{V}{L}$. Nimmt man nun an, für eine gewisse Lichtsorte (von gelber Farbe) sey $L = 0.00002$ W. Zoll, und schlägt man den Werth von V nur auf 40000 Meilen an, jede zu 4000 Klafter gerechnet, so hat man, durch Reduction von V auf Zolle,

$$N = 40000 \,.\, 4000 \,.\, 6 \,.\, 12 \,.\, 100000 : 2 = 576 \,.\, 10^{12}.$$

Es zeigt sich daher in diesem Falle die ungeheure Anzahl von 576 Billionen Schwingungen in 1 Sec. Die Schwingungsdauer ist für rothes Licht größer als für violettes; das rothe Ende des Spectrums ist daher den tiefsten, das Violette den höchsten Tönen analog. Nach Herschel variirt die Anzahl der Schwingungen in 1 Sec. vom äußersten Roth bis zum äußersten Violett von 458 bis 727 Billionen, ein Intervall, das bedeutend weniger als eine Octave beträgt.

184. Wir haben bisher, der Einfachheit des Falles wegen, stets angenommen, daß die Lichtstrahlen die beugenden Oeffnungen senkrecht treffen. Ohne Schwierigkeit läßt sich die Betrachtung auch auf den Fall ausdehnen, wenn die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen mit dem Schirme einen schiefen Winkel machen. Man hat bloß den Umstand zu beachten, daß die in der Ebene der Oeffnungen vorhandenen Aethertheilchen in demselben Augenblicke in verschiedenen, von der Schiefe der Strahlen abhängenden Phasen sich befinden. Die Theorie der Beugung durch Gitter mit Reihen von Oeffnungen, deren Gestalten und Anordnung welche immer seyn mag, läßt sich auf dem Wege der Undulationstheorie nicht weniger genügend entwickeln, als die oben betrachteten einfachen Fälle; jedoch ist hiezu eine bloß populäre Vorgangsweise nicht hinreichend, sondern man muß die Rechnung zu Hilfe rufen. Diese gibt Resultate, die nicht bloß mit der Erfahrung auf das Genaueste harmoniren, sondern auch auf Einzelnheiten der Phänomene aufmerksam machen, die sonst leicht übersehen würden. Eine vollständige und sorgfältige Behandlung dieses Gegenstandes findet man in dem, auch treffliche Winke zur leichten Anstellung der Versuche enthaltenden Werke: Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt von F. M. Schwerd. Mannheim 1835.

185. Die Theorie der Beugung des Lichtes am Rande eines undurchsichtigen Schirmes, oder an beiden Rändern eines schmalen Körpers gründet sich auf die Wirkung eines Wellenstückes, das sich nach einer Seite ins Unbestimmte ausbreitet und nur nach der andern Seite begrenzt ist, auf einen Punkt. Folgende Betrachtungen mögen hinreichen, zu zeigen, wie diese Beugungsphänomene aus der unduliren den Bewegung des Aethers entspringen, in so weit es möglich ist, davon ohne Anwendung der mathematischen Analyse einen Begriff zu

geben. Es sey AB, Fig. 276, ein normaler Durchschnitt eines Wellenstückes, das von einem homogenes Licht gebenden Punkte oder von einer Linie ausgesendet wird, und von dessen Krümmung wir abstrahiren, AC die Normale zum Punkte A nach der Richtung des Fortschreitens der Welle gezogen, P ein in bedeutender Distanz von A angenommener Punkt, der sich jenseits der AC befinde. Man theile AB in Theile Aa, ab, bc, cd, de u. s. w., so daß der Unterschied der Entfernungen der Grenzpunkte eines jeden von P die Hälfte der Wellenlänge des Lichtes beträgt, mithin $aP - AP = \frac{1}{2}L$, $bP - aP = \frac{1}{2}L$, $cP - bP = \frac{1}{2}L$ u. s. w. ist. Die Elementarstrahlen, welche von den Punkten A, b, d, ... ausgehen, bringen, indem sie in P zusammentreffen, übereinstimmende Phasen dahin; die von den Punkten a, c, e, ... herrührenden Phasen aber sind ersteren gerade entgegengesetzt. Dasselbe gilt von ähnlich liegenden Punkten der Stücke Aa, bc, de, ... im Vergleiche mit ab, cd, ... Ertheilt nun die Gesammtwirkung aller Punkte des Stückes Aa dem Punkte P eine gewisse Phase, so empfängt er in demselben Augenblicke von dem Stücke ab eine entgegengesetzte, aber von geringerer Energie, denn die Ausdehnung des Stückes Aa ist etwas größer als die des Stückes ab, und ersteres ist auch dem Punkte P etwas näher als letzteres. Dasselbe gilt von dem Effecte des Stückes bc im Vergleiche mit dem gleichzeitigen von ab u. s. w. Nennen wir nun die Vibrationsintensitäten des Punktes P, in Folge der gleichzeitigen Gesammtwirkung der Stücke Aa, ab, bc, cd, de ... auf ihn, der Reihe nach $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ so ist, wenn I die resultirende Intensität der Schwingung von P vorstellt:

$$I = \alpha - \beta + \gamma - \delta + \varepsilon - \ldots$$

wobei $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ eine abnehmende Reihe bilden, deren Glieder zuletzt ganz unmerklich werden. Auch lehrt die Rechnung, daß, wenn P anfänglich in C und sodann nach der auf AC senkrechten Richtung Cz sich von AC entfernend gedacht wird (wobei zugleich die Punkte a, b, c, ... sich entsprechend verschieben), der Werth von I ununterbrochen fort abnimmt, ein Resultat, welches übrigens aus der Natur der Sache sich voraussehen läßt. Alles Gesagte besteht auch noch, wenn man die von anderen Durchschnitten der Welle AB nach P gesendeten Elementarstrahlen in die Betrachtung aufnimmt. Ist daher AH ein Schirm, der bloß das Wellenstück AB vorbei läßt, mithin Cz der geometrische Schatten dieses Schirmes, so nimmt die Lichtstärke von C gegen z hin sehr rasch ab. Ist aber AH ein sehr schmaler Körper, so daß das von der anderen Seite desselben in den geometrischen Schatten einwirkende Licht eine mit der des ersteren vergleichbare Stärke hat, und der Gangunterschied beider Lichtbündel nicht zu groß ist, so interferiren sich dieselben nahe nach dem oben (181) für eine Doppelspalte gefundenen Gesetze, wobei man die Ränder A und H näherungsweise wie die Spalten wirkend betrachten darf. Befindet sich aber der Punkt P dießseits der AC, Fig. 277, so ziehe man von ihm zur Welle die Normale PE, und verbinde P mit A.

Ist der Unterschied AP — EP kleiner als die Hälfte einer Wellenlänge, so fügt das Stück AE zu dem Effecte, den EB in P hervorbringt, etwas hinzu; ist AP — EP größer als vorhin und kleiner als eine Wellenlänge, so wirkt, wenn h in EA so angenommen wird, daß hP — EP = $\frac{1}{2}$L ist, hB auf P, wie eben gesagt wurde, aber die Action von hA vermindert diesen Effect. Liegt die Differenz AP — EP zwischen L und $\frac{3}{2}$L, so ist der Lichteffect in P wieder größer als im nächst vorhergehenden Falle. Hieraus ergibt sich die Folge, daß, wenn AH ein Schirm von bedeutender Breite ist, die Stärke der Beleuchtung außerhalb seines geometrischen Schattens in CP, durch mehrere abwechselnd auf einander folgende Maxima und Minima geht, nämlich von C gegen P hin zuerst wächst, dann abnimmt, ohne jedoch bis auf Null herab zu sinken, hierauf wieder wächst u. s. w. Hiedurch sind die Streifen erklärt, welche man am Rande des Schattens jedes breiten, von einem Punkte beleuchteten Körpers wahrnimmt. Diese Streifen finden sich auch vor, wenn der Körper AH schmal ist, jedoch modificirt das von H auf die andere Seite gelangende Licht dieselben um so mehr, je geringer die Breite AH ist.

Andere Phänomene, z. B. daß bei Beleuchtung eines kleinen kreisrunden Schirmes durch einen Lichtpunkt die Mitte seines Schattens eben so hell ist, als wenn der Schirm nicht da wäre u. dgl., bestätigen die Richtigkeit der Theorie um so mehr, als sie durch selbe vorausgesagt und erst hinterher durch Versuche nachgewiesen worden sind. Ueber die Beugung des Lichtes an den Rändern der Körper s. Fresnel in Pogg. Ann. 30. 100.

186. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Die Theorie der Beugung des Lichtes nach den Principien der Undulationshypothese läßt uns einsehen, was es mit der sogenannten geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes für eine Bewandtniß habe. Im Allgemeinen findet sie, wie die Beugungsphänomene lehren, nicht Statt; denn der durch eine enge Spalte hindurch von einem Punkte beleuchtete Raum ist größer, als er dieser Fortpflanzungsweise des Lichtes gemäß seyn sollte, und die Durchschnittspunkte der Streifen einer gewissen Ordnung mit einer auf die Spalte senkrechten Ebene liegen, weil die Differenz ihrer Abstände von den Rändern der Oeffnung constant bleibt, in einer Hyperbel, deren Brennpunkte in diesen Rändern ihren Sitz haben. Wo die geradlinige Lichtfortpflanzung Statt hat, geht sie aus dem Umstande hervor, daß sich alles Seitenlicht durch Interferenz zerstört. Je weiter man eine Spalte öffnet, die das von einem Punkte ausfahrende Licht theilweise aufhält, desto mehr rücken die Beugungsspectra, deren äußerste eine verschwindende Intensität haben, an einander, und sämmtliche Spectra werden bei zu großer Oeffnung endlich unmerklich. Hindert man einen Theil der einander aufhebenden Strahlen zu den übrigen zu kommen, so bleiben diese wirksam, ein Umstand, der den Zusammenhang zwischen Beugung und geradliniger Fortpflanzung des Lichtes klar darlegt.

187. Reflexion und Brechung des Lichtes. Es sey

A, Fig. 278, ein leuchtender Punkt, von welchem Lichtstrahlen AB, AB′ u. s. w. auf die Trennungsfläche CD zweier Mittel fallen. Die in CD liegenden Aethertheilchen werden hiedurch erschüttert. Da sie aber nicht wie die das Licht längs AB, AB′ fortpflanzenden Aethertheilchen ausweichen, indem sie durch andere Kräfte, wie jene beherrscht werden, so wirken sie sowohl auf das Medium, in welchem sich das Licht ursprünglich bewegt hat, wie auch auf das jenseits CD befindliche Mittel, und erzeugen dadurch, gleichsam wie eine selbstständige Lichtquelle, neue Wellen. Die in das ursprüngliche Mittel zurückschreitenden Wellen begründen das reflectirte, die in dem anderen Mittel, wenn es zur Fortpflanzung des Lichtes geeignet ist, erregten das gebrochene Licht. Gleich wie sich in dem ersten Mittel um A eine Fläche denken läßt, zu deren Punkten die von A ausgehenden Erschütterungen gleichzeitig gelangen, und die, wenn man dieselbe Reihe gleichzeitiger Vibrationen weiter verfolgt, sich fortwährend ausbreitet, ihren früheren Formen stets ähnlich bleibend, welche Fläche wir in 168 Wellenfläche nannten; eben so lassen sich auch für das reflectirte und gebrochene Licht Wellenflächen denken, als geometrische Orte der gleichzeitigen Ankunft der Vibrationen. Um dieselben construiren, insbesondere um zu jedem gegebenen einfallenden Strahle die durch Reflexion und Brechung entstehenden angeben zu können, wenden wir das in 179 angedeutete allgemeine Princip so an, wie es in der directen Fortschreitung des Lichtes in einem homogenen Mittel sich zu erkennen gibt. Ist nämlich A, Fig. 279, ein vibrirender Punkt, und MN die einer Vibration nach Verlauf einer beliebigen Zeit t entsprechende Wellenfläche; ferner CD eine nach Willkür zwischen A und MN angenommene Fläche, so werden die auf ihr in a, b, c, d, ... liegenden Aethertheilchen von jeder Vibration des Punktes A im Allgemeinen in verschiedenen Zeiten τ, τ', τ'', τ''', ..., erreicht. Man sehe nun die Punkte a, b, c, d, ... als selbstständige Mittelpunkte der Undulationen an, und construire um a herum die Wellenfläche mit den Dimensionen, die ihr nach Verlauf der Zeit $t - \tau$ von ihrem Ursprunge an gerechnet zukommen; eben so beschreibe man für b, c, d, ... die Wellenflächen hinsichtlich der Fortpflanzungszeiten $t - \tau'$, $t - \tau''$, $t - \tau'''$, ... u. s. w. Denkt man sich jetzt die Punkte a, b, c, d, ... einander unendlich nahe, so bilden die zwischen den Durchschnitten der dicht an einander gereihten Wellenflächen liegenden Stücke wie mn, np ꝛc. eine Fläche, von der die ersteren Flächen sämmtlich berührt werden, und diese ist keine andere, als die Wellenfläche MN selbst. Hiebei sind die Geraden am, bn, cp, ... die Fortsetzungen der Lichtstrahlen Aa, Ab, Ac, ... Die Position des Punktes m auf MN wird, unter der Voraussetzung, daß ab unendlich klein ist, durch die Bedingung bestimmt, daß Aa + am und Ab + bm von jeder Undulation des Punktes A in einerlei Zeit zurückgelegt werden. Hiezu können wir noch die Bemerkung fügen, daß die von a, b, c, d, ... ausgehenden Vibrationen einander in m, n, p, ... wegen der Gleichheit der Phasen, mit denen sie daselbst

ankommen, unterstützen (obgleich in einerlei Augenblick a, b, c, d, ... verschiedene Phasen zeigen), dagegen die von eben diesen Mittelpunkten seitwärts gesendeten Vibrationen einander durch Interferenz aufheben. Setzen wir nun an die Stelle der Fläche CD in Fig. 279 die Trennungsfläche zweier heterogenen Mittel Fig. 278; betrachten wir die Punkte a, b, c, d, ... letzterer als Mittelpunkte der Undulationen, construiren in beiden Medien die Wellenflächen, welche gleichen Fortpflanzungszeiten vom Ursprunge des Lichtes in A an gerechnet, zugehören; so geben die Berührungsflächen MN, PQ beider Reihen von Wellenflächen die Wellenfläche für das reflectirte und gebrochene Licht, und die aus dem Mittelpunkte, z. B. a einer Elementarwelle zu den Berührungspunkten x, y gezogenen Geraden die Lichtstrahlen ax, ay, welche durch Modification des von der Lichtquelle auf CD fallenden Strahles Aa entstehen. Obgleich wir, ohne nähere Bestimmung der Beschaffenheit des einfallenden Strahles, seiner Lage, und der Natur der an einander grenzenden Mittel über die Art der von der Trennungsfläche in beide ausgehenden Schwingungen nichts auszusagen vermögen; so ist es doch gewiß, daß, wenn zwischen zwei unmittelbar von A ausgegangenen und in CD eintreffenden Erschütterungen ein Phasenunterschied besteht, die Schwingungen, welche von den erschütterten Punkten in CD ausgehen, dieselbe Phasendifferenz zeigen. Dieß berechtiget uns, obige Bemerkung in Betreff der Uebereinstimmung der Phasen in der Richtung der directen Strahlen, und die Aufhebung des Lichtes außerhalb derselben auch auf die reflectirten und gebrochenen Strahlen auszudehnen. Aus den Grundgesetzen der vibrirenden Bewegung folgt überdieß, daß, wenn das einfallende Licht ein homogenes ist, die Farbe desselben durch Reflexion oder Brechung keiner Aenderung unterliegt, denn welche Aenderungen auch immer an der Form der Bahn der Aethertheilchen oder ihren Abmessungen vor sich gehen mögen, die Dauer einer einfachen Oscillation bleibt stets dieselbe. Vorliegende Betrachtung wird hinreichend bemerklich machen, wie es kommt, daß Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze durchsichtiger Medien zugleich auftreten, und auch das Band, welches diese Erscheinungen verknüpft, enthüllen. Uebrigens liegt es außerhalb der Grenzen dieses Lehrvortrages, das Problem der Reflexion und Brechung des Lichtes nach seinem ganzen Umfange zu durchgehen, sondern wir beschränken uns auf die Betrachtung der einfacheren Fälle.

188. Es sey das Mittel, worin sich das vom Punkte A auf eine Ebene CD, Fig. 280, einfallende Licht bewegt, ein einfach brechendes, und der Gang des reflectirten Lichtes zu bestimmen. In einem solchen Mittel pflanzt sich gleichartiges Licht, das wir hier ausschließend beachten, nach allen Richtungen gleich schnell fort; es müssen daher die Wege, welche von demselben binnen gleichen Zeiten zurückgelegt werden, gleiche Länge haben. Nehmen wir jetzt auf der Ebene CD beliebige Punkte a, b, c u. s. w. an, die von den Strahlen Aa, Ab, Ac getroffen werden, so müssen wir dem in 187 Ge-

sagten zu Folge mit Halbmessern, die wir vor der Hand X, Y, Z u. nennen wollen, und deren Größen so gewählt sind, daß

$$Aa + X = Ab + Y = Ac + Z \text{ u. s. w.}$$

ist, aus a, b, c, ... Kugelflächen beschreiben. Die gemeinschaftliche Berührungsfläche aller dieser Kugelflächen ist eine Wellenfläche des reflectirten Lichtes, und die von a, b, c, ... zu den Berührungspunkten der zugehörenden Kugelflächen mit jener Fläche geführten Halbmesser, geben die Richtungen der aus Aa, Ab, Ac, ... entstehenden reflectirten Strahlen an. Die Halbmesser X, Y, Z, ... erhält man auf folgende Art: Man fälle aus A auf CD die Senkrechte AB, verlängere dieselbe bis A', so daß A'B = AB wird, ziehe von A' durch a, b, c, ... die unbestimmten Geraden A'ax, A'by, A'cz, ... und beschreibe aus A' als Mittelpunkt mit einem beliebigen Halbmesser, der aber viel größer als A'a ist, eine Kugelfläche MN, welche die genannten Geraden jenseits CD in x, y, z, ... schneidet, so sind ax, by, cz, ... die verlangten Halbmesser. Es ist klar, daß die mit denselben zu verzeichnenden Kugelflächen die Fläche MN zur gemeinschaftlichen Berührungsfläche haben, und daß x, y, z, ... die Berührungspunkte seyn werden. Demnach ist die Kugelfläche MN eine Wellenfläche, und die reflectirten Strahlen ax, by, cz, ... haben solche Richtungen, als ob sie von dem Punkte A' ausgegangen wären, eine Folgerung, die mit dem bekannten Reflexionsgesetze des Lichtes auf das Genaueste harmonirt.

Wäre die Ausdehnung der reflectirenden Fläche CD sehr klein, so würde sich aus nun leicht einzusehenden Gründen ein Beugungsphänomen einstellen, gerade so, als ob das Licht von A' durch eine der CD gleiche Oeffnung gegangen wäre.

189. Betrachten wir jetzt den Uebergang des Lichtes aus einem einfach brechenden Mittel in ein anderes einfach brechendes. Die auf die ebene Trennungsfläche CD, Fig. 281, beider einfallenden Strahlen seyen wie vorhin Aa, Ab, Ac u. s. w. Die Verschiedenheit beider Mittel liegt in der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher sie das Licht fortpflanzen. Angenommen, daß sich die Geschwindigkeit des Lichtes in dem Mittel, das den einfallenden Strahl enthält, zu der Geschwindigkeit des Lichtes in dem brechenden Mittel verhalte, wie n : 1, so werden die Halbmesser X, Y, Z, .. mit welchen innerhalb des brechenden Mittels, aus den Mittelpunkten a, b, c, ... die Kugelflächen zu beschreiben sind, deren gemeinschaftliche Berührungsfläche die Wellenfläche des gebrochenen Lichtes gibt, durch die Gleichungen $\frac{Aa}{n} + X = \frac{Ab}{n} + Y = \frac{Ac}{n} + Z$ rc. dargeboten; denn die Zeiten, binnen welchen das Licht seine Wege in den verschiedenen Mitteln zurücklegt, werden durch die Quotienten dieser Wege mit den entsprechenden Geschwindigkeiten gemessen. Es ist klar, daß die Kugelflächen, deren Mittelpunkte dem Punkte a unendlich nahe liegen, einander in einem Punkte der Ebene begegnen, die durch Aa senkrecht gegen CD gelegt ist, und dieser Punkt ist zugleich der Berührungspunkt der Wellen-

fläche und der aus a beschriebenen Kugelfläche. Es sey x dieser Berührungspunkt und b in der Einfallsebene des Strahles Aa unendlich nahe an a, so besteht die Gleichung $\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Ab}{n} + bx$, aus der $Ab - Aa = n(ax - bx)$ folgt. Man mache $AG = Aa$ und $xH = xb$, und ziehe aG, bH, so ist dieser Gleichung gemäß

$$bG = n . ah, \text{ daher } bG : aH = n : 1.$$

Man darf hier, wegen der Kleinheit der Winkel aAb, axb, die Winkel G, H als rechte betrachten, und erhält dadurch mittelst der Dreiecke aGb, aHb:

$$ab : bG = 1 : \sin baG, \quad ab : aH = 1 : \sin abH, \text{ mithin}$$

$bG : aH = \sin baG : \sin abH$ daher auch $\sin baG : \sin abH = n : 1.$ Errichtet man EF in a auf CD senkrecht, so ist der Winkel baG gleich dem Einfallswinkel AaE und abH gleich dem Brechungswinkel xaF, folglich

$$\sin AaE : \sin xaF = n : 1,$$

welches das Gesetz der gewöhnlichen Brechung des Lichtes ist.

Die Brechung erfolgt zum Einfallslothe, wenn $n > 1$ und vom Einfallslothe, wenn $n < 1$ ist. Im ersten Falle pflanzt also das brechende Mittel die undulirende Bewegung langsamer, im zweiten schneller fort, als das ursprüngliche Mittel des Lichtstrahles. Nach den Principien der Emanationshypothese verhält sich die Sache gerade umgekehrt. Die Mittel, welche den Gang des eintretenden Lichtes beschleunigen, brechen es zum Einfallslothe, die, welche den Gang des eintretenden Lichtes verzögern, brechen es vom Einfallslothe. Dieser Umstand könnte, wenn es noch nöthig wäre, zu einer directen Entscheidung des Rangstreites beider Ansichten dienen, sobald es gelänge, durch Versuche nachzuweisen, ob das Licht in stärker brechenden Mitteln sich langsamer oder schneller bewege, als in schwächer brechenden. Arago hat hiezu die Anwendung eines rotirenden Spiegels vorgeschlagen, ein von Wheatstone zum Behufe der Untersuchung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Electricität erdachtes und mit gutem Erfolge angewendetes Hilfsmittel. (Vergl. Electricitätslehre.)

Aus der Grundlage obiger Deduction erhellet, daß der Durchschnittspunkt zweier nächsten Strahlen nach ihrer Reflexion oder Brechung ein Punkt der gleichzeitigen Ankunft der Vibrationen ist. Ein solcher Punkt ist demnach der Brennpunkt oder der Ort des Bildes vor einem Hohlspiegel oder hinter einer Sammellinse. Daraus wird man einsehen, warum sich die Lichtstrahlen in diesen Punkten stets verstärken, nie aber durch Interferenz schwächen oder gar aufheben können. Eine Brennlinie oder Bremfläche ist eine stetige Folge von Punkten gleichzeitiger Ankunft des Lichtes.

190. Die Gestalt der durch einen leuchtenden Punkt erzeugten Wellenfläche nach der Brechung an der ebenen Grenzfläche zweier einfach brechenden Mittel weicht von der Kugelform ab, und kann auf dem in Vorhergehenden angedeuteten Wege mittelst geeigneter analytischer Methoden berechnet werden. Ist jedoch der leuchtende Punkt von der brechenden Ebene so weit entfernt, daß alle von ihm auf dieselbe fallenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen, d. h. handelt es sich lediglich um die Brechung einer ebenen Welle, so

ist leicht einzusehen, daß die gebrochene Welle gleichfalls eine ebene Gestalt haben werde, und es kann die Lage derselben nach den angeführten Principien ausgemittelt werden. Es sey AK, Fig. 282, der Durchschnitt einer ebenen Welle mit einer Ebene, die auf ihr und auf der brechenden Ebene senkrecht steht, so beruht die Fortpflanzung der Welle AK auf dem Fortschreiten der in allen Punkten derselben, wie A, B, C... gleichzeitig, und daher auch mit übereinstimmenden Phasen Statt findenden Vibrationen. Man hat hier bloß auf die Richtungen zu sehen, nach denen die einander unterstützenden Schwingungen weiter gehen, und kann daher annehmen, daß längs der auf AK senkrechten Geraden Aa, Bb, Cc u. s. w. Schwingungen fortgehen, die in a, b, c.... auf der Trennungsfläche der Mittel Erschütterungen erregen, in Folge deren diese Punkte in das brechende Mittel kugelförmige Wellen senden. Es seyen X, Y, Z, ... die Halbmesser der letzteren in einem bestimmten Augenblicke, so bestehen die Gleichungen $\frac{Aa}{n} + X = \frac{Bb}{n} + Y = \frac{Cc}{n} + Z$ u. s. w., wobei n die frühere Bedeutung hat (189). Aus diesen Gleichungen folgt
$Bb - Aa = n\,(X - Y)$, $Cc - Bb = n\,(Y - Z)$ u. s. w.
Es verhalten sich demnach die Unterschiede jener Halbmesser wie die Unterschiede der Strahlen Aa, Bb, Cc ꝛc., woraus nothwendig hervorgeht, daß die stetige Folge der benachbarten Durchschnittspunkte aller so möglichen gleichzeitigen Kugelwellen eine Ebene darstellt, die sämmtliche Kugelflächen gemeinschaftlich berührt. Um die Lage dieser Ebene zu finden, ziehe man zu AK im brechenden Mittel die Parallele QH, verlängere Aa bis Q, beschreibe aus a mit einem Halbmesser, der sich zu aQ verhält wie 1 : n, einen Kreis, und ziehe zu demselben aus H die Tangente Hx. Diese ist der Durchschnitt der gebrochenen Welle, und der zum Berührungspunkte x gehende Halbmesser ax ist der aus Aa entspringende gebrochene Strahl. In der That verlängert man Bb bis R, und zieht man by auf Hx senkrecht, so hat man einerseits $aH : bH = aQ : bR$, andererseits $aH : bH = ax : by$, mithin $ax : by = aQ : bR$. Aber es ist

$$ax : aQ = 1 : n, \text{ oder } ax = \frac{aQ}{n}, \text{ mithin auch } by = \frac{bR}{n}.$$

Dem gemäß ergibt sich

$$\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Aa + aQ}{n} = \frac{AQ}{n}; \quad \frac{Bb}{n} + by = \frac{Bb + bR}{n} = \frac{BR}{n}.$$

Aber es ist $AQ = BR$, folglich ist auch $\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Bb}{n} + by$. Betrachtet man daher ax als den Halbmesser X, so ist $by = Y$, wodurch die Uebereinstimmung von Hx mit der Lage der gebrochenen Welle bewiesen ist. Auch sieht man nun, daß diese Construction mit der in 105 gewiesenen identisch ist.

191. Aus den allgemeinen Gleichungen der Fortpflanzung der undulirenden Bewegung in einem Systeme materieller Theilchen von der Art, wie man sich den Lichtäther vorzustellen hat, ergibt sich,

Cauchy's Analyse gemäß, das wichtige Resultat, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der einfachen Schwingungen, in welchen das homogene Licht besteht, im Allgemeinen von der Schwingungsdauer abhängt. Beide Größen erscheinen nämlich durch eine Gleichung mit einander verknüpft, in welcher sich übrigens noch Größen befinden, die durch die specielle Natur des Mittels dargeboten werden. Ist daher die eine der zwei ersteren Größen gegeben, so ist die andere bestimmt. Hierin liegt der Grund, daß die Wellen, worin die Aethertheilchen ihre Schwingungen in kürzerer Zeit vollbringen, sich langsamer fortpflanzen als diejenigen, deren Schwingungsdauer größer ist. Ersteres ist bei den violettes Licht gebenden Wellen, letzteres bei den rothes Licht gebenden der Fall. Aber der Brechungswinkel hängt bei gleicher Incidenz von dem Verhältnisse der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in den an einander grenzenden Mitteln ab, und zwar wird eine Lichtwelle um so stärker gebrochen, je langsamer sie in dem brechenden Mittel fortschreitet. Es sind demnach die Wellen, deren Aethertheilchen eine kürzere Schwingungsdauer haben, die brechbareren. Hierin liegt der Grund der Zerlegung des weißen Lichtes durch Brechung in seine farbigen Bestandtheile, und überhaupt der Zerlegung jedes nicht homogenen Lichtes. Es erklärt somit die Undulationstheorie die Dispersion des Lichtes vollkommen. (*Mémoire sur la dispersion de la Lumière. Par A. L. Cauchy. Prague* 1836.)

192. Gelangt Licht an die Grenze eines doppelt brechenden Körpers, z. B. eines Doppelspathes, und ist der einfallende Strahl weder im Hauptschnitte noch senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt, so können die Vibrationen, welche den an der Oberfläche des Körpers befindlichen Aethertheilchen mitgetheilt werden, nicht unverändert in das Innere dieses Körpers fortschreiten. Es vermag nämlich ein Körper dieser Art nach einer nicht mit einer optischen Axe zusammenfallenden Richtung bloß geradlinige Vibrationen, und unter diesen bloß solche, die entweder in der Ebene des Hauptschnittes oder senkrecht gegen diese Ebene Statt finden, unverändert fortzupflanzen; auch erfolgt die Fortpflanzung beider Arten von Vibrationen mit verschiedenen Geschwindigkeiten (170). Diese Geschwindigkeit ist bei einaxigen Krystallen für das im Hauptschnitte polarisirte Licht (das nach Fresnel in Schwingungen senkrecht gegen den Hauptschnitt besteht) nach allen Richtungen dieselbe, oder die Wellenfläche hat eine sphärische Gestalt; für das senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirte Licht aber (das nach Fresnel in Schwingungen besteht, deren Richtung in die Ebene des Hauptschnittes fällt) ändert sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der Richtung, und die Wellenfläche ist ein Ellipsoid, welches durch Umdrehung einer Ellipse um eine ihrer Hauptaxen entsteht. Zerlegt man die wie immer beschaffene (jedoch jedenfalls in einer auf die Fortpflanzungsrichtung oder den Lichtstrahl senkrechten Ebene vor sich gehende) Schwingung eines Aethertheilchens im einfallenden Strahle in zwei geradlinige Schwingungen, wovon die eine senkrecht gegen die Ebene des Hauptschnittes, die andere in dieser

Ebene erfolgt, so kann man den einfallenden Strahl als den Inbegriff zweier Strahlen betrachten, die einerlei Richtung und Geschwindigkeit haben, und wovon der eine im Hauptschnitte, der andere senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt ist. Jeder dieser Strahlen erzeugt in dem doppelt brechenden Mittel einen Strahl von gleichem Polarisationszustande, indem die Elementarwellen, die von den an der Grenzfläche erschütterten Aetherttheilchen ausgehen, nur nach einer gewissen Richtung im Einklange wirken, nach anderen Richtungen aber sich wechselseitig tilgen. Wegen der verschiedenen Form dieser Wellen für die zwei so eben unterschiedenen Schwingungsweisen, erhalten die resultirenden zwei Strahlen verschiedene Richtungen, die nach der in 105 — 107 vorgetragenen Construction bestimmt werden können, welche, wie nun leicht eingesehen werden kann, eine unmittelbare Folge der bisher erklärten theoretischen Principien ist. In der That wurde die von Huyghens und noch mehr die von Fresnel angegebene Form der Wellenfläche auf theoretischem Wege entdeckt; das Gesetz der doppelten Brechung des Lichtes in den ein- und zweiaxigen Krystallen, zumal letzteres, hätte aus bloßen Beobachtungen wohl nicht können aufgefunden werden. Daß die hier gegebene Theorie nicht bloß die doppelte Brechung, sondern auch die doppelte Reflexion des Lichtes (s. 107 Anm.) erklärt, bedarf ebenfalls keiner weiteren Erläuterung.

Mit Rücksicht auf 175 läßt sich auch jetzt erklären, wie es kommt, daß ein geradlinig polarisirter Lichtstrahl, der in einen Doppelspath eindringt, nur dann zwei Bilder von gleicher Lichtstärke liefert, wenn seine Polarisationsebene mit dem Hauptschnitte einen Winkel von 45° macht, und daß bei einem kleineren Winkel beider Ebenen das gewöhnliche, bei einem größeren das ungewöhnliche Bild das intensivere ist. Im ersten Falle sind nämlich beide Componenten des Lichtstrahles gleich stark; im zweiten hat die nach dem Hauptschnitte, im dritten die senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirte Componente das Uebergewicht. Anders verhält es sich mit dem unpolarisirten Lichte; da haben diese Componenten rasch hinter einander alle möglichen Größen, von Null angefangen bis zur Intensität des einfallenden Strahles, und der Effect beider fällt daher gleich aus.

193. Die Erklärung der **Polarisation** des Lichtes durch **Reflexion und Brechung in einfach brechenden Medien** beruht darauf, daß die Intensität des reflectirten und gebrochenen Lichtes nicht bloß von jener des einfallenden, vom Einfallswinkel, vom Brechungsexponenten, sondern überdieß noch vom Polarisationszustande des einfallenden Lichtes abhängt, und dem gemäß einen verschiedenen Werth annimmt, je nachdem das einfallende Licht in der Einfallsebene oder senkrecht darauf polarisirt ist, und Licht von letzterer Art bei einem gewissen Einfallswinkel (dem Polarisationswinkel) keinen reflectirten Strahl liefert. Dieß und die Zerlegung des einfallenden Lichtes in zwei senkrecht gegen einander polarisirte Strahlen vorausgesetzt, liegt der Grund der Verwandlung gemeinen Lichtes in polarisirtes durch Reflexion oder Brechung unter den gehörigen Umständen klar vor Augen, und ist bereits in 123 angegeben worden. Die Theorie weiset aber diese Voraussetzungen genau nach.

Obgleich die verschiedenen Bearbeiter der Undulationstheorie, in Hinsicht der Grundlagen zur Bestimmung der Intensität des reflectirten und gebrochenen Lichtes, nicht einerlei Meinung sind, da die einen die Schwingungen des geradlinig polarisirten Lichtes senkrecht gegen die Polarisationsebene annehmen, während sie nach andern in der genannten Ebene vor sich gehen (ein Gegensatz der Meinungen, welcher mit der Theorie in so weit verträglich ist, als diese allgemeinere Schwingungsgesetze darbietet, worin jene des Lichtäthers als specieller Fall enthalten sind, und daher nach Verschiedenheit der Voraussetzungen über die specielle Natur dieses Stoffes die eine oder die andere Schwingungsweise dem polarisirten Lichte zukommen muß), so vereinigen sich doch alle in den Resultaten, und finden, in sofern die Intensität des einfallenden Lichtes $= 1$, die des reflectirten durch R, die des gebrochenen durch S, der Einfallswinkel durch a, der Brechungswinkel durch b vorgestellt wird, für den Fall,
wenn das einfallende Licht in der Einfallsebene polarisirt ist:

$$1)\quad R = \left(\frac{\sin(a - b)}{\sin(a + b)}\right)^2, \qquad S = \frac{\sin 2a \, . \, \sin 2b}{[\sin(a + b)]^2},$$

und wenn das einfallende Licht senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist:

$$2)\quad R = \left(\frac{\sin 2a - \sin 2b}{\sin 2a + \sin 2b}\right)^2, \qquad S = \frac{4 \sin 2a \, . \, \sin 2b}{(\sin 2a + \sin 2b)^2}.$$

In beiden Fällen ist daher $R + S = 1$. Ist der Einfallswinkel so gewählt, daß der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht, so ist $a + b = 90^\circ$, mithin $2a + 2b = 180^\circ$, daher $\sin 2a = \sin 2b$. Macht nun die Polarisationsebene des einfallenden Strahles mit der Einfallsebene einen rechten Winkel, so gibt die erste der Formeln 2) $R = 0$, was durch Brewster, der dieses Gesetz (124) zuerst aufstellte, mittelst zahlreicher Versuche bestätiget wurde. Aehnliche Formeln haben Seebeck, Neumann, Mac Cullagh für die Intensität des reflectirten und gebrochenen Strahles gegeben, wenn eines der an einander grenzenden Medien ein doppelt brechendes ist. Auch die in 125 angeführten Formeln für die Drehung der Polarisationsebene bei der Reflexion und Brechung, finden in den Principien, worauf die hier gegebenen Formeln ruhen, ihre Begründung. Es liegt außerhalb der Grenzen dieses Vortrages, die Ableitung dieser Formeln nachzuweisen; wir bemerken nur noch, daß, wenn es sich um Vergleichung der Intensitäten zweier in verschiedenen Mitteln fortgepflanzten Lichtwellen handelt, der in 175 aufgestellte Begriff nicht hinreicht, sondern das Produkt des Quadrates der Amplitude oder Schwingungsintensität, mit der in einer Lichtwelle bewegten Aethermasse der Lichtintensität proportional zu setzen ist. (S. Neumann's Abhandlung: Ueber den Einfluß der Krystallflächen bei der Reflexion des Lichtes. Berlin 1837. Derselbe in Pogg Ann. 40. 497; 42. 1.)

194. Die Umstaltung geradlinig polarisirten Lichtes in circulares oder elliptisch polarisirtes durch totale Reflexion in Fresnel's Parallelepiped oder durch Reflexion an Metallflächen, gründet sich auf eine Verschiedenheit in der Einwirkung, welche die an einander grenzenden Medien auf Licht, das in der Einfallsebene oder senkrecht gegen dieselbe polarisirt ist, äußern, und vermöge welcher einer der zwei Strahlen, in die das einfallende Licht zerlegt werden kann, hinsichtlich des andern, eine Verschiebung der Undulationsphase erfährt; so daß nach der Reflexion zwei Strahlen, deren In-

tensitäten und Phasen verschieden sind, sich interferiren, und eine elliptische oder circulare Schwingung erzeugen (174). Auch dieser Vorgang, den Fresnel mit so seltenem Scharfsinne durchblickte, wurde von Cauchy aus der Theorie abgeleitet, und die Formel, worauf ersterer die Construction seines Parallelepipeds gründete, gerechtfertiget. Der Winkel dieses Parallelepipeds ist so gewählt, daß der durch eine totale Reflexion, die den Gang des senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirten Strahles verzögert, herbeigeführte Phasenunterschied beider entgegengesetzt polarisirten Strahlen $^1/_8$ Undulation ausmacht. Hiezu ist der Einfallswinkel von 48° oder 54° nöthig. Zwei totale Reflexionen bringen daher den Phasenunterschied auf $^1/_4$ Undulation. Durch eine einzige totale Reflexion im Glase kann dieser Unterschied nicht so hoch gesteigert werden. Macht die Polarisationsebene des einfallenden Strahles mit der Reflexionsebene den Winkel von 45°, so haben auch die zwei componirenden Strahlen, deren einer in, der andere senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, gleiche Intensitäten, und somit sind alle Bedingungen zur circularen Polarisation vorhanden. Bei einer anderen schiefen Stellung der Reflexionsebene des Parallelepipeds gegen die Polarisationsebene des einfallenden Strahles, fallen die Intensitäten der Componenten ungleich aus, und die Schwingung wird elliptisch. Es ist leicht einzusehen, daß, je nachdem die Reflexionsebene des Parallelepipeds dießseits oder jenseits der Polarisationsebene des einfallenden Strahles um 45° gedreht worden, die circulare Schwingung der Aethertheilchen in dem einen oder dem andern Sinne (rechts oder links) nach der Richtung der Fortpflanzung hingesehen erfolgen müsse, weßhalb auch rechts circular polarisirte Strahlen von links polarisirten unterschieden werden. Eine gleiche Unterscheidung tritt bei der elliptischen Polarisation ein. Auf ähnlichen Principien beruht die Modification des Lichtes durch Reflexion an Metallflächen. (S. Fresnel in Pogg. Ann. 22. 90. Neumann ebend. 26. 89. Cauchy ebend. 39. 40.)

195. Die Drehung der Polarisationsebene eines durch ein senkrecht gegen die Axe geschnittenes Bergkrystallplättchen in paralleler Richtung mit der Axe gehenden Lichtstrahles (135) hat in der eigenthümlichen Beschaffenheit des Bergkrystalles ihren Grund, in Folge deren derselbe längs seiner Axe nur circulare Schwingungen fortzupflanzen vermag, und zwar rechts und links vor sich gehende Schwingungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzt. Ein geradlinig polarisirter Strahl kann aus zwei, entgegengesetzt circular polarisirten Strahlen bestehend gedacht werden, da sich jede geradlinige Schwingung in zwei entgegengesetzte circulare zerlegen läßt. Tritt nun ein geradlinig polarisirter Strahl in ein Bergkrystallplättchen von der erwähnten Art, so stehen die beiden circularen Bestandtheile desselben bei dem Austreten in einer Phasendifferenz; indem sie sich wieder zu einer geradlinigen Schwingung zusammensetzen, wird die Richtung dieser eine andere seyn. Verschiedene Bergkrystall-Individuen unterscheiden sich dadurch, daß einige rechts circulares, andere links

circulares Licht mit größerer Geschwindigkeit fortpflanzen. Hieraus erklärt sich die Drehung der Polarisationsebene im entgegengesetzten Sinne, die gleich dicke Platten aus verschiedenen Bergkrystall-Individuen bewerkstelligen. Die eigenthümliche drehende Wirkung gewisser tropfbar flüssiger Substanzen auf die Polarisationsrichtung des durch selbe geleiteten Lichtes muß eben so erklärt werden. Die verschiedene Geschwindigkeit des Lichtes längs der Axe des Bergkrystalles wurde übrigens von Fresnel, dem wir obige Erklärung verdanken, durch directe Versuche bekräftigt, indem es ihm gelang, die beiden entgegengesetzt polarisirten Strahlen mittelst eines aus rechts und links drehenden Prismen zusammengesetzten rechtwinkligen Parallelepipeds, zu trennen, und ihren circularen Polarisationszustand nachzuweisen. (Pogg. Ann. 21. 276.)

196. Nicht minder glücklich als in den bisher betrachteten Fällen ist die Undulationstheorie in der Erklärung der **Farbenerscheinungen doppelt brechender Platten** im polarisirten Lichte. Es sey ABCD, Fig. 283, der Durchschnitt einer solchen Platte, EF ein darauf fallender geradlinig polarisirter Lichtstrahl, der bei seinem Eintritte in dieselbe in zwei senkrecht gegen einander polarisirte Strahlen FG und FH gespalten werde, welche letzteren an der Fläche DC bei G und H der Richtung des einfallenden Strahles parallel nach Gx und Hy austreten. Trifft nebst EF ein Bündel Strahlen von derselben Richtung die Platte, so ist ein zweiter Strahl E′F′ vorhanden, der bei dem Eintritte in FG′ und F′G zerfällt, so daß der Strahl F′G zugleich mit FG nach der Richtung Gx die Platte verläßt. Da die zwei Strahlen, welche den Strahl Gx zusammensetzen, sich im Allgemeinen wegen der Schiefe der Incidenz auf AB und wegen der ungleichen und mit verschiedenen Geschwindigkeiten zurückgelegten Wege in verschiedenen Schwingungsphasen und in entgegengesetztem Polarisationszustande mit einander vereinigen, so geht aus ihrer Interferenz eine elliptische Schwingung hervor, die in besonderen Fällen circular, auch geradlinig ausfallen kann. Hiedurch erklärt es sich, wie man mit Hilfe solcher Platten sich derlei Licht zu verschaffen vermag (133). Wird nun der Strahl Gx mittelst eines der Untersuchungsapparate des Polarisationsinstrumentes analysirt, so zerfällt wieder jeder der zwei Strahlen, woraus Gx besteht, in zwei andere, deren einer in dem Hauptschnitte oder der Reflexionsebene des analysirenden Apparates, der andere senkrecht darauf polarisirt ist. Die Wirkung des analysirenden Apparates besteht aber darin, die zwei in einem Sinne polarisirten dieser Componenten von den anderen zwei zu trennen, und da die Schwingungsrichtungen jedes solchen Paares in dieselbe Gerade fallen, so bringen die zwei Strahlen desselben einen resultirenden Strahl von verschiedener Intensität hervor, nach Maßgabe des ursprünglichen Einfallswinkels, der Dicke der Platte, der Stellung der Polarisationsebene des einfallenden Strahles gegen den Hauptschnitt der Platte und der Lage der Hauptebene des analysirenden Apparates, endlich der Natur des angewandten Lichtes. Ist dieses zusammenge-

setzt, so erscheinen die Bestandtheile desselben in einem abgeänderten Intensitätsverhältnisse gemengt. Die Rechnung, welche alle Umstände der Phänomene dieser Art bis ins kleinste Detail zu verfolgen im Stande ist, lehrt, daß die zwei durch den analysirenden Apparat gesonderten Effecte, wie auch jene bei entgegengesetzten Stellungen der Hauptebene desselben bei Anwendung weißen Lichtes complementär gefärbt erscheinen. Unpolarisirtes, durch eine derlei Platte geleitetes Licht gibt nach der Analyse keine Farbenerscheinungen, weil die auf einerlei Polarisationsebene gebrachten Componenten der Strahlen in allen möglichen Combinationen von Phasen auftreten, in Folge der unendlich vielen, nach allen möglichen Richtungen polarisirten Strahlen, aus denen das unpolarisirte Licht bestehend gedacht werden kann, so daß jeder Effect mit seinem complementären zusammenfällt, und durchgehends nur gleichfarbiges Licht von einerlei Intensität erhalten wird.

Aus dem Gesagten wird man leicht entnehmen, warum eine senkrecht gegen die Are geschnittene Platte im Polarisationsapparate Farbenringe darbietet, sobald Strahlen unter sehr verschiedenen Neigungswinkeln darauf fallen; gleichen Neigungen gegen die Are entsprechen hier nämlich gleiche Interferenzphänomene; warum die Farbenringe um so näher an einander gerückt erscheinen, je größer sie werden, denn bei schieferer Incidenz wird der Gangunterschied der Strahlen größer, und variirt mit wachsender Schiefe rascher; warum eine Doppelspathplatte dieser Art ein schwarzes oder weißes Kreuz zeigt, je nachdem die Hauptebenen des polarisirenden und analysirenden Apparates sich kreuzen oder zusammenfallen, und warum die Arme dieses Kreuzes nach diesen Hauptebenen gerichtet sind, denn Strahlen, die in dieser Hauptebene vom Polarisationsapparate zur Krystallplatte kommen, erleiden keine doppelte Brechung, womit auch die Interferenz von den sonst vorhandenen zwei Strahlentheilen wegfällt u. dgl. Ja selbst die Hauptformen der Erscheinungen im circularen oder elliptischen Lichte lassen sich ohne Rechnung voraussehen; allein zur vollständigen quantitativen Erörterung dieser Phänomene ist die mathematische Behandlung unerläßlich. Sie wurde für Platten einariger Krystalle senkrecht auf die Are geschnitten, von Airy in Pogg. Ann. 23. 204 ausführlich gegeben. Nach anderen Richtungen geschnittene Platten behandelt Müller a. a. O. 33. 282; 35. 95 261. Ueber die Farbenerscheinungen an zweiarigen Krystallen s. Neumann in Pogg. Ann. 33. 257.

197. Berücksichtiget man bei dem in 158 betrachteten Gange des Lichtes innerhalb eines dünnen Plättchens aus einer durchsichtigen Substanz (vermöge dessen ein von dem Plättchen zurückkehrender oder durch dasselbe hindurchgehender Strahl die Vereinigung einer Folge von Strahlen ist, die im Innern eines dünnen Plättchens eine verschiedene Anzahl Reflexionen erlitten haben, mit dem einfach reflectirten oder gerade durchgehenden Strahle) die Phasen und Intensitäten der einzelnen Theile des resultirenden Strahles, so erhält man Ergebnisse der Rechnung, die mit der Erfahrung in allen Stücken auf das Beste harmoniren, und sonach keinen Zweifel übrig lassen, daß dieß die richtige Erklärung des Phänomens sey.

Um an dem einfachsten Falle der Rechnung einen Begriff von dem Gange derselben zu geben, wollen wir zeigen, warum an der Berührungsstelle der zwei Gläser des Newton'schen Apparates zur Darstellung der Farbenringe im senkrecht reflectirten Lichte ein dunkler Fleck erscheint. Es seyen r, ρ die Brüche, mit welchen man die Vibrationsintensität des Lichtes multipliciren muß, um deren Werth nach einer äußeren und inneren Reflexion desselben am Plättchen zu erhalten, und s, σ ähnliche Multiplicatoren für eine innere und äußere Brechung. Wird die Schwingungsintensität des einfallenden Lichtes $= 1$ gesetzt, so findet man die Schwingungsintensität 1) des an der äußeren Fläche des Plättchens reflectirten Strahles $= r$; 2) des Strahles, der in das Plättchen eindringt, an der Hinterfläche eine Reflexion erleidet, dann durch die Vorderfläche herausgeht $= s\rho\sigma$; 3) des Strahles der eindringt, an der Hinterfläche, dann an der Vorderfläche, wieder an der Hinterfläche reflectirt wird, und sodann durch die Vorderfläche austritt $= s\rho\rho\rho\sigma = s\rho^3\sigma$ u. s. w. Nennt man die Schwingungsintensität des resultirenden Strahles v, so hat man, weil in dem vorliegenden Falle die Dicke des Plättchens $= 0$ anzunehmen ist, mithin kein Phasenunterschied in Folge eines Gangunterschiedes der Strahlen Statt findet, die eine verschiedene Strecke im Innern des Plättchens zurückzulegen hatten,

$$v = r + s\rho\sigma + s\rho^3\sigma + s\rho^5\sigma + \ldots = r + s\rho\sigma(1 + \rho^2 + \rho^4 + \ldots)$$
$$= r + \frac{s\rho\sigma}{1 - \rho^2} = \frac{r + \rho\,(s\sigma - r\rho)}{1 - \rho^2}.$$

Der Theorie zu Folge ist bei jeder der zwei Vorstellungsweisen hinsichtlich der Lage der Schwingungsrichtung gegen die Polarisationsebene allgemein, für jeden Polarisationszustand und für jede Incidenz $\rho = -r$ und $s\sigma - r\rho = 1$. Hiedurch reducirt sich der obige Ausdruck auf Null.

198. Da die Undulationstheorie der Lichterscheinungen sich lediglich auf die Gesetze der schwingenden Bewegung gründet, so ist begreiflich, daß ihre weitere Ausbildung nicht sowohl von neuen Erfahrungen als von den Fortschritten der theoretischen Mechanik abhängt, die ihrerseits wieder zum Theil durch jene der mathematischen Analysis bedingt werden. Die raschen Fortschritte auf diesem Felde in unseren Tagen lassen erwarten, daß auch die bis jetzt noch weniger aufgeklärten Gegenstände bald ins Reine gebracht werden dürften. Hieher gehören insbesondere die Erscheinungen der Absorption des Lichtes, warum in gewissen Körpern nur gewisse farbige Strahlen fortgepflanzt werden u. dgl., wofür auf theoretischem Wege bereits von Wrede und Cauchy Bedeutendes geleistet worden ist. (S. Pogg. Ann. 33. 353; 39. 40.) Ferner der Zusammenhang zwischen den Körpertheilchen und jenen des Aethers u. dgl., worüber Lamé und Lloyd Untersuchungen angestellt haben.

Zu den Werken, welche eine Darstellung der Lichttheorie geben, gehören außer dem S. 323 angeführten Herschel's noch *Airy's Mathematical Tracts. Cambridge* 1831. Kunzek die Lehre vom Lichte. Lemberg 1836. Eine Zusammenstellung des neueren Zustandes der Lichtlehre gibt Lloyd's Abriß einer Geschichte der physischen Optik, übersetzt von Klöden. Berlin 1836. Die mathematische Theorie findet man sehr vollständig und mit Berücksichtigung der neuesten Erweiterungen abgehandelt im Handbuche der Optik von Radicke. Berlin 1839.

Zweiter Abschnitt.

Wärme.

Erstes Kapitel.

Von der Wärme überhaupt.

199. So wie das Ohr durch den Schall, das Auge durch das Licht afficirt wird, eben so wird das Gemeingefühl durch die Wärme angeregt. So wie wir die durch Vibrationen im Ohre erregten Empfindungen von der objectiven Ursache derselben unterscheiden, aber doch beide mit dem Worte Schall bezeichnen, eben so benennen wir sowohl die Wärmeempfindung, als ihren objectiven Grund, mit dem Worte Wärme. Hitze ist eine gesteigerte Wärmeempfindung, Kälte verhält sich zur Wärme, wie Finsterniß zum Lichte. Warm erscheint uns ein Körper, der uns Wärme im objectiven Sinne zuführt, kalt derjenige, der sie uns entreißt; darum kann uns derselbe Körper bald warm, bald kalt erscheinen. Taucht man die Hand in kaltes Wasser, so erscheint uns dieses Anfangs kälter, als nach einiger Zeit; taucht man sie in warmes, so finden wir auch dieses Anfangs am wärmsten, weil uns Anfangs vom kalten Wasser am meisten Wärme entrissen, vom warmen aber am meisten zugeführt wird. Taucht man eine Hand in kaltes, die andere in warmes Wasser, hierauf aber beide in laues; so hält man letzteres nach der Empfindung an der einen Hand für warm, an der anderen für kalt. Den wahren Wärmezustand, d. h. die Temperatur eines Körpers erfährt man bekanntlich durch das Thermometer. Ob es einen Körper gebe oder geben könne, der gar keine Wärme enthält, dessen Temperatur also dem Nullpunkte der natürlichen Thermometerscale entspricht, wissen wir nicht.

200. Bekanntlich afficirt die Wärme nicht bloß unser Gemeingefühl, sondern wirkt auch auf die todte Materie, vergrößert ihr Volum und ändert ihren Aggregationszustand; ja vielleicht ist die Empfindung der Wärme selbst nur das unmittelbare Resultat der Ausdehnung unserer Organe. Die Wärme läßt sich durch keinen Körper hemmen, sie durchdringt alles, wie die Schwere, bewegt sich nach eigenen Gesetzen, und setzt sich auch nach eigenen Gesetzen ins Gleichgewicht.

201. Ueber die Natur des Wärmeprincipes sind nicht alle Physiker derselben Meinung. Nach einigen ist es die zum Wesen der Körper gehörige abstoßende Kraft, nach anderen besteht es in einer vibrirenden Bewegung des Aethers oder der kleinsten Körpertheile; eine große Anzahl der Naturforscher sieht es aber als einen eigenen Stoff an, den

man Wärmestoff (Caloricum) nennt, und mit allen jenen Eigenschaften ausrüstet, welche zur Erklärung der Wärmephänomene nothwendig sind. Demnach wird der Wärmestoff als eine eigene, feine, ausdehnsame Flüssigkeit charakterisirt, welche sich mit den Körpern verbindet, durch ihre Expansivkraft auf sie wirkt, aber immer nach Gleichgewicht trachtet. Wir wollen vor der Hand die Frage über die Natur des Wärmeprincipes ganz beseitigen, und die objective Ursache aller Wärmeerscheinungen, Wärme nennen. Die Ausdrücke: Wärmemenge, Mittheilung, Bewegung der Wärme xc., deren wir uns in der Folge bedienen werden, sind vor der Hand nur bildliche Bezeichnungen der Affection eines uns unbekannten Wesens, und werden leicht ihre eigentliche Bedeutung finden, wenn man hinreichenden Grund haben wird, sich für eine oder die andere der vorhergehenden Hypothesen ausschließlich zu erklären.

Zweites Kapitel.

Gesetze der Bewegung der Wärme.

202. Schon der Umstand, daß derselbe Körper verschiedene Temperaturen annimmt, beweiset, daß die Wärme in Körpern ab- und zufließe, mithin sich bewege. Aber die Wärme, welche die Temperatur der Körper bestimmt, ist mit ihnen verbunden und bewegt sich in ihrem Inneren; doch kann sie auch für sich, ohne mit einem Stoffe in Verbindung zu seyn, existiren; denn die Erfahrung lehrt, daß sie in die Körper eindringt, sie wieder verläßt und sich im leeren Raume sowohl, als durch materielle Dinge, wie das Licht, fort bewegt. Man stellt sich vor, diese Fortpflanzung erfolge in Strahlen, wie beim Lichte, und nennt darum diese Wärme strahlende Wärme. Eigentlich sollte man sie freie Wärme nennen.

203. Zur Feststellung der Gesetze, nach denen sich die strahlende Wärme fortpflanzt, bedarf man besonderer Instrumente, die man Differenzial-Thermometer nennt, weil sie nicht Temperaturen überhaupt, sondern nur Temperaturunterschiede anzeigen. Es besteht ein solches Instrument im Wesentlichen aus einer, zu zwei parallelen Schenkeln aufgebogenen Thermometerröhre, die an jedem Ende in eine, dem Kaliber der Röhre angemessene, Luft enthaltende Kugel ausgeht. Die Luft in der einen Kugel ist von jener der anderen durch eine tropfbare Flüssigkeit (Quecksilber oder gefärbte Schwefelsäure) getrennt. Wird die Temperatur einer Kugel geändert, so treibt die Luft in der wärmeren die tropfbare Säule die gleichsam den Index abgibt, vor sich hin, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist, und man kann aus dem neuen Stande dieser Säule die Wärmedifferenz der beiden Kugeln abnehmen.

Es gibt zweierlei Differenzial-Thermometer. Bei dem einen sind die Luftvolume in den zwei Kugeln veränderlich, und es herrscht nur bei gleichen Expansivkräften derselben Gleichgewicht; bei dem anderen hat die

Luft in beiden Kugeln immer nahe dasselbe Volum, aber eine verschiedene Expansivkraft, und das Gleichgewicht kann nur durch den Druck einer kürzeren oder längeren tropfbaren Säule hergestellt werden. Ein Thermometer der ersten Art hat kurze, aufwärts gebogene Schenkel und ein langes Zwischenstück; es fordert eine ziemlich weite Röhre, einen kurzen Inder, und die ganze Scale fällt in das Zwischenstück. Die Temperaturdifferenzen sind den Unterschieden der Luftvolume proportionirt. Von der Art ist Rumford's Differenzial-Thermometer (Thermoscop) Fig. 284. Ein Thermometer der zweiten Art hat lange Schenkel mit einem ganz kurzen Zwischenstücke, die Röhre ist enge, die Flüssigkeit füllt einen Schenkel ganz bis in die Kugel, den anderen nur zum Theile, und die Scale fällt ganz in den längeren aufrechten. Die Differenz des Druckes dieser zwei Säulen entspricht dem Temperaturunterschiede. Von dieser Art ist Leslie's Differenzial-Thermometer (Fig. 285). Bei letzterem ist die Flüssigkeit gefärbte Schwefelsäure. Nimmt man dazu eine flüchtige Flüssigkeit, z. B. Aether, wie dieses Schmidt und Howard gethan haben, so enthält die Luft noch Dünste derselben, und es wird im Falle der Erwärmung einer Kugel nicht bloß die Expansivkraft der Luft und der Dünste größer, sondern es entstehen von letzteren auch neue; das Instrument wird dadurch empfindlicher, kann allein nicht mehr, oder wenigstens nicht auf so einfache Art, wie eines der vorigen graduirt werden. Zu den delicatesten Untersuchungen über strahlende Wärme braucht man gegenwärtig thermomagnetische Apparate, die erst in der Folge erklärt werden können.

204. Um sich vom Daseyn der strahlenden Wärme zu überzeugen, bringe man einen erwärmten Körper, z. B. ein Stück heißes Metall oder ein Gefäß mit heißem Wasser in die Nähe eines Differenzial-Thermometers, und schütze eine Kugel desselben vor dem heißen Körper durch einen undurchsichtigen Schirm. Da wird die freie Kugel mehr als die andere erwärmt, selbst wenn sich das Thermometer unterhalb des warmen Körpers befindet. Da Luftströmungen die genannte Wirkung nicht hervorbringen können, so muß die Wärme die Luft durchdringen, um zum Thermometer zu gelangen. Auch der Umstand, daß eine erwärmte Thermometerkugel im luftleeren Raume viel schneller erkaltet, als dieses bei der bloßen Fortpflanzung der Wärme durch das Glasrohr erfolgen könnte, beweiset, daß die Wärme die Kugel verlasse und durch den leeren Raum zu dem Gefäße übergehe, worin die Leere gebildet ist. Das sogenannte Spucken stark geheizter Oefen ist das Werk der strahlenden Wärme; denn rührte dieses von der erhitzten Luft her, so könnte es nicht durch einen Schirm abgehalten werden, wie es doch der Fall ist.

205. Die strahlende Wärme geht geradlinig durch den leeren Raum und durch die Luft, wird durch die Bewegung der letzteren nicht merklich gestört, und pflanzt sich mit einer ungemein großen Geschwindigkeit fort, deren eigentliche Größe bisher noch gar nicht gemessen werden konnte, die aber jener des Lichtes nicht nachzustehen scheint. Die geradlinige Fortpflanzung der strahlenden Wärme ist daraus abzunehmen, daß eine Kugel des Differenzial-Thermometers gegen die Einwirkung eines erhitzten Köpers vollkommen geschützt wird durch einen metallenen Schirm, der vermöge seiner Form und Größe nur

die geradlinig ausfahrenden Strahlen abzuhalten vermag. Die ungeheure Geschwindigkeit, mit der die Wärmestrahlen die Luft durcheilen, beweisen viele Erfahrungen: Bringt man einen erwärmten Körper in die Nähe eines empfindlichen Thermometers, so steigt dieses augenblicklich, ja auch durch das Gefühl verräth sich die Nähe eines solchen Körpers in einem Momente, selbst in Fällen, wo an eine Mittheilung der Wärme durch die Luft gar nicht gedacht werden kann.

206. Die Wärmemenge, welche ein Körper in einer gegebenen Zeit ausstrahlt, richtet sich nach seiner Temperatur, Natur und oft auch nach der Beschaffenheit seiner Oberfläche. Je höher die Temperatur eines Körpers ist, desto größer ist die Intensität seiner Wärmestrahlung. Metalle besitzen bei übrigens gleichen Umständen ein kleineres Vermögen, Wärmestrahlen auszusenden, als ihre Oxyde; Wasser ein größeres als Glas, dieses ein größeres als Papier rc. Bei nicht metallischen Körpern hat die Glätte oder Rauhheit der Oberfläche keinen merklichen Einfluß auf eine Wärmestrahlung; metallische aber strahlen desto mehr Wärme aus, je geringer die Dichte und Härte ihrer Oberflächeschichten ist. Wird demnach durch Ritzen der glatten Oberfläche die dichtere Schichte weggenommen und eine mindere Dichte entblößt, so steigert man dadurch die Wärmestrahlung. Da die meisten Metallbleche durch Walzen und Hämmern erzeugt werden, und demnach wirklich an den äußersten Schichten eine größere Dichte haben, als im Innern, so muß jedes Bloßlegen dieser Schichten durch Rauhmachen der Oberfläche eine Steigerung der Wärmestrahlung zur Folge haben (Melloni in Pogg. Ann. 45. 57). Es haben aber nicht alle von demselben Punkte des strahlenden Körpers kommenden Wärmestrahlen einerlei Intensität, sondern diese ist bei dem normal ausfahrenden am größten, und nimmt ab, so wie der Cosinus des Ausstrahlungswinkels wächst. Dieses erkennt man daraus, daß eine warme Kugel, deren Strahlen durch eine an einem Schirme angebrachte Oeffnung auf ein Thermometer gelangen, an demselben kein stärkeres Steigen bewirket, als eine eben so warme ebene Scheibe von derselben materiellen Beschaffenheit und demselben Durchmesser, wiewohl die Kugel bei ihrer viel größeren Oberfläche mehr Strahlen, aber darunter auch viel schief ausfahrende auf das Thermometer sendet. Die aus einem Punkte ausfahrenden Wärmestrahlen divergiren auf ihrem Wege und nehmen an Intensität so ab, wie das Quadrat ihrer Entfernung vom Ausgangspunkte wächst. Die Strahlen scheinen nicht erst von der äußersten Fläche der Körper aus, sich strahlend zu verbreiten, sondern aus dem Innern der Masse in diesen Zustand zu kommen.

Den großen Einfluß der Beschaffenheit der Natur der Körper auf die Wärmestrahlung beweiset ein schöner Versuch, der von Leslie herrührt: Man nehme einen hohlen Würfel von Eisenblech, der auf einer Seite polirt, auf der zweiten mit einer Glasplatte bedeckt, auf der dritten matt geschliffen, auf der vierten berußt ist, und stelle ihn einem Hohlspiegel gegenüber, in dessen Brennpunkte sich ein empfindliches Thermometer befindet. Wendet man nun die polirte Seite des Würfels gegen den Spiegel, so bemerkt man ein Steigen der Flüssigkeit im

Thermometer. Ist dieselbe zum Stillstehen gekommen, so steigt sie alsogleich von Neuem, wenn man den Würfel mit der Glasseite gegen den Spiegel kehrt. Noch beträchtlicher steigt sie, wenn man die matte, und noch mehr, wenn man die schwarze Seite des Würfels dem Spiegel zuwendet. Auf ähnliche Weise hat Leslie den Einfluß der Oberfläche kennen gelehrt. Er überzog einen hohlen Würfel mit blankem Zinnbleche, und fand seine Wirkung auf ein im Brennpunkte eines Hohlspiegels stehendes Thermometer = 12. Ritzte er das Zinn der Länge nach, so zeigte sich sein Strahlungsvermögen = 19, that er dasselbe auch nach der Quere, so wurde es auf 23 gesteigert, und endlich gar auf 26, als er auch Striche nach vielen anderen Richtungen gezogen hatte. — Sehr dünne Platten durchdringt Wärme immer sehr reichlich, von welcher Natur sie seyn mögen. Daß die von einem Körper ausstrahlende Wärme wenigstens zum Theile aus seinem Innern komme, davon überzeugte sich Leslie auf folgende Art: Er überzog einen blanken Spiegel, dessen Strahlungsvermögen er kannte, mit einer Leimschichte von bestimmter Dicke, und untersuchte hierauf sein Strahlungsvermögen, trug dann eine zweite, dritte rc. Schichte auf, und nahm die Bestimmung des Strahlungsvermögens nach jeder dieser Operationen von Neuem vor. Die erste Leimschichte setzte das Strahlungsvermögen des Spiegels auf $^1/_5$ herab, jedes folgende Auftragen einer neuen Schichte erhöhte aber dieses Vermögen, und als der ganze Ueberzug $^2/_{100}$ Z. Dicke hatte, war das Strahlungsvermögen des Spiegels auf $^4/_5$ seiner ursprünglichen Kraft erhöht.

207. Die Wärmestrahlen erfahren auf ihrem Wege fast alle Modificationen, denen die Lichtstrahlen unter denselben Verhältnissen unterworfen sind. Trifft ein Wärmestrahl die Grenze zweier heterogenen Mittel, so dringt nur ein Theil davon ins neue Mittel ein, der andere wird regelmäßig oder zerstreut reflectirt. Der ins neue Mittel eindringende wird in demselben entweder seiner strahlenden Natur beraubt (absorbirt) oder er pflanzt sich in demselben strahlend fort, und erfährt bei seinem Fortschreiten nur eine successive Schwächung oder theilweise Absorption, bis er an der zweiten Grenze anlangt, wo er abermals eine Theilung in zwei Theile erleidet, deren einer ins Innere des Mittels zurückkehrt, und nur der Rest verläßt dieses Mittel wieder. Nur der absorbirte Theil erhöht die Temperatur des Mittels. Man nennt Körper, welche die Wärmestrahlen strahlend durchlassen, diathermane, solche, die dieses nicht thun, athermane. Ist das diathermane Mittel von parallelen Flächen begrenzt, so verläßt es ein Wärmestrahl in einer Richtung, welcher mit jener parallel ist, unter welcher er darauf einfiel; sind aber dessen Grenzflächen nicht parallel, so weicht die Richtung des Strahles beim Austritte von jener beim Eintritte ab, d. h. der Wärmestrahl wird gebrochen. Eine aus einer diathermanen Substanz verfertigte Converlinse sammelt gehörig auffallende Wärmestrahlen durch Brechung in einem Punkte. Man hat sich sogar überzeugt, daß es für Wärmestrahlen unter gehörigen Umständen eben so eine totale Reflexion gebe, wie bei Lichtstrahlen, und daß in einem Mittel, welches vermöge seiner Begrenzung und seiner Natur eine starke Brechung zu erzeugen im Stande ist, wie z. B. ein dreiseitiges Steinsalzprisma, es auch eine Art Wärmespectrum gebe, und daß demnach die

von einem Körper ausfahrenden Wärmestrahlen auch eine verschiedene Brechbarkeit besitzen. Im Mittel scheinen Wärmestrahlen in demselben Mittel, z. B. in Steinsalz minder brechbar zu seyn, als Lichtstrahlen, und zwar desto weniger, von je niederer Temperatur der ausstrahlende Körper ist. Die Natur der ausstrahlenden Körper hat hierauf nur geringen Einfluß. Die Extreme der Brechbarkeit scheinen bei Wärmestrahlen weiter aus einander zu liegen, als beim Lichte. Die Möglichkeit, Wärmestrahlen zu polarisiren, ist behauptet, hierauf geläugnet, und neuestens, wie es scheint, zuerst durch Forbes unwidersprechlich bewiesen worden. Leitet man nämlich Wärmestrahlen durch ein Plättchen, das aus einem gelben Turmalin parallel mit der Richtung seiner Are geschnitten worden, oder unter einem bestimmten Winkel durch eine Glimmersäule, so findet man sie polarisirt. Sogar von einer circularen Polarisation will man bereits Anzeigen erhalten haben. Alle diese Modificationen sind vorzüglich von Melloni durch Anwendung eines höchst empfindlichen thermo-elektrischen Apparates außer allen Zweifel gesetzt worden.

208. Die Schwächung, welche Wärmestrahlen durch einen diathermanen Schirm erleiden, rührt theils von der Reflexion der zwei Grenzflächen des Schirmes, theils von der Absorption in der Materie desselben, mithin von der größeren oder geringeren Diathermansie seiner Materie her. Man muß also den ersteren Verlust kennen, um die Gesetze der Diathermansie numerisch erörtern zu können. In Bezug auf die Diathermansie lehrt nun die Erfahrung folgende Gesetze: Ein Körper läßt desto mehr Wärmestrahlen durch, je glatter und polirter seine Oberfläche ist. Bei gleicher Politur läßt ein dünner Körper unter übrigens gleichen Umständen mehr Wärme durch, als ein dickerer, zum Beweise, daß die Absorbtion im Innern desselben schrittweise vor sich gehe. Man sieht es als eine erwiesene Sache an, daß die Menge der in einer bestimmten Schichte absorbirten Wärme der Intensität, der darauf fallenden proportionirt sey, und daß daher für die Wärmestrahlen dasselbe Gesetz gelte, welches S. 284 für Lichtstrahlen aufgestellt worden ist. Daß ein vollkommen diathermaner Körper nicht an dieses Gesetz gebunden sey, versteht sich von selbst. Von der Art ist Steinsalz. Dieses läßt von senkrecht einfallenden Wärmestrahlen 0.923 durch, welche Dicke die Platte auch haben mag. Beim Durchgange durch ein System von Platten von solcher Natur geht viel mehr Wärme verloren, als bei einer einzigen Platte, deren Dicke der Summe der Dicken aller Platten gleich ist, und es gehen Strahlen, die bereits durch ein Plättchen gegangen sind, viel leichter durch ein zweites derselben Natur. Bei einem Systeme von Platten von gleicher oder verschiedener Natur und Dicke ist der Effect unabhängig von der Ordnung, in welcher die einzelnen Platten auf einander folgen. Die Natur der Körper hat einen sehr großen Einfluß auf die Menge der durchgelassenen Strahlen. Die Durchsichtigkeit und Farbe eines Körpers ist von der Diathermansie ganz unabhängig, und es gibt Körper, die für Licht in hohem Grade, für Wärme nur wenig durchgängig sind, und umge-

kehrt, wie z. B. schwarzes Glas, dicker Rauchtopas, schwarzer Glimmer, die mehr diatherman sind, als Wasser, Krystallglas 2c. Alaun und Wasser scheinen am wenigsten, Steinsalz und Schwefelkohlenstoff am meisten diatherman zu seyn. In unkrystallisirten, festen, farblosen Körpern und in tropfbaren Flüssigkeiten, folgt die Diathermansie dem Brechungsvermögen; bei krystallisirten ist dieses nicht der Fall, doch sind diese in jeder Richtung gleich diatherman. Derselbe Körper ist für Strahlen, die von derselben Quelle aber bei verschiedener Temperatur derselben kommen, ungleich diatherman, und zwar durchdringen ihn solche, die von der heißeren Quelle kommen, leichter, als andere. Vorzüglich merkwürdig ist das Verhalten diathermaner Körper für Strahlen, die von Wärmequellen verschiedener Natur kommen. Diese besitzen in der Regel eine verschiedene Transmissions- oder Absorptionsfähigkeit, so daß man annehmen muß, es gebe eben so Wärmestrahlen von verschiedener Absorptionsfähigkeit, wie es Lichtstrahlen von verschiedener Farbe gibt. Derselbe Körper kann Wärmestrahlen verschiedener Art aussenden, eben so wie leuchtende Körper Lichtstrahlen von verschiedener Farbe ausstrahlen. Geht ein heterogenes Wärmebündel durch einen diathermanen Stoff, so werden in demselben jene Strahlen, für welche er atherman ist, absorbirt, und die ausfahrende Wärme kann dann, gereiniget von dem absorbirbaren Antheil, einen anderen Körper derselben Art ohne bedeutende Schwächung durchgehen.

Es falle ein einfaches Strahlenbündel von der Intensität I senkrecht auf einen Körper von der Dicke m, und es werde davon an der Vorderfläche des Körpers der Antheil aI reflectirt. Es tritt also nur der Theil $I(1-a)$ ein, und wird in jeder Schichte des betreffenden Stoffes der Antheil μ des ganzen Bündels absorbirt, so ist der Strahl $I(1-a)$, nachdem er alle Schichten, in welche man sich den Körper getheilt denket, und deren Anzahl m seyn mag, auf die Intensität $I(1-a)(1-\mu)^m$ reducirt. Wird von diesem beim Austritte an der Hinterfläche der Antheil a_1 zurückgeworfen, so hat der den Körper verlassende Bündel die Intensität $I(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^m = A$. Geht das austretende Bündel, nachdem es aus der ersten Platte gekommen ist, durch eine zweite von derselben Natur und von der Dicke n, so hat es beim Austritte aus diesem die Intensität $A(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^n$, oder $I(1-a)^2 (1-a_1)^2 (1-\mu)^{m+n}$. Auf gleiche Weise erhält man für die Intensität des Bündels, welches, ohne seine Natur zu ändern, durch Platten von der Dicke m, n, p, q 2c. gegangen ist, den Ausdruck $I(1-a)^s (1-a_1)^s (1-\mu)^{m+n+p+q}$ 2c. Für Strahlen von verschiedener Natur hat μ einen verschiedenen Werth. Für $m = 0$ erhält man $A = I(1-a)(1-a_1)$, oder wenn das Plättchen an der Vorder- und Hinterfläche an dasselbe Mittel grenzt, $A = I(1-a)^2$. Dieser Ausdruck gilt demnach für ein unendlich dünnes Plättchen, oder für ein solches, welches vollkommen diatherman ist, und bei welchem ein auffallender Strahl nur durch die beim Ein- und Austritte Statt habenden Reflexionen geschwächt wird, wie z. B. bei Steinsalzplättchen. Versuche zeigen für ein solches Plättchen, wenn $I = 1$ ist, $A = (1-a)^2 = 0.923$, mithin $a = 0.0393$ oder nahe $1/_{400}$tel.

209. Die Erfahrung lehrt, daß sich in jedem Systeme von Körpern, die sich gegenseitig Wärme zusenden können, eine bleibende

Gleichheit der Temperatur herstelle, die Oberflächen dieser Körper mögen wie immer beschaffen seyn. Da nun diejenigen, welche ein größeres Strahlungsvermögen besitzen, auch offenbar mehr Wärme von anderen aufnehmen müssen, um jenes Gleichgewicht möglich zu machen; so muß das Absorptionsvermögen desto größer seyn, je größer das Emissionsvermögen ist, und von denselben Umständen abhängen, wie dieses. Leslie hat die Gleichheit dieser zwei Vermögen auch durch einen directen Versuch erwiesen.

Leslie fand folgende Werthe für das Strahlungs- und Absorptionsvermögen der nachstehenden Körper: Lampenruß = 100; Wasser = 100; Schreibpapier = 98; Glas = 90; Tuschmasse = 88; Eis = 85; mattes Blei = 45; Quecksilber = 20; glänzendes Blei = 19; polirtes Eisen = 15; polirtes Zinn = 15; polirtes Gold, Silber, Kupfer = 12; Graphit = 75; Menning mit Hausenblase aufgetragen = 80; Crownglas = 90; Siegellack = 95; harziger Ueberzug = 95. Von der Gleichheit des Strahlungs- und Absorptionsvermögens kann man sich auf folgende Weise überzeugen: Man stelle in den Brennpunkt eines Hohlspiegels die gläserne Kugel eines Thermometers, und halte dem Spiegel gegenüber eine warme geschwärzte Zinnplatte von bestimmter Temperatur. Ihre Wirkung auf das Thermometer sey = 100. Nun setze man an die Stelle dieser Platte eine blanke Zinntafel von derselben Temperatur. Ihre Wirkung mag = 12 seyn, so daß sich das Strahlungsvermögen beider zu einander verhält, wie 100 : 12. Hierauf bringe man in den Brennpunkt des Spiegels ein Thermometer mit zinnerner Kugel und beobachte die Wirkung der geschwärzten Fläche auf sie. Sie sey = 2.5. Wird nun die Wirkung derselben Fläche auf die geschwärzte zinnerne Kugel eines Thermometers untersucht, so findet man eine Zahl, die sich zu 2.5 so verhält, wie 100 : 12, in unserem Falle 20. Eine andere Art, diesen Versuch anzustellen, lehrt Ritchie (Pogg. Ann. 28. 387).

210. Die Menge der von einem Körper reflectirten Wärme, d. h. sein Reflexionsvermögen richtet sich im Allgemeinen nach denselben Gesetzen, an welche das Absorptionsvermögen gebunden ist, jedoch so, daß alles, was die Absorption vermehrt, die Reflexion vermindert. Ist die Fläche eines diathermanen Körpers wohl polirt, so reflectirt er an der Eintrittsgrenze $^1/_{400}$tel der senkrecht einfallenden Strahlen; bei Körpern mit rauher unpolirter Oberfläche beträgt die reflectirte Wärme mehr, weil da nebst der regelmäßigen Reflexion auch noch eine Zerstreuung der Wärmestrahlen Statt hat. Von schief einfallenden wird überhaupt mehr reflectirt, besonders wenn der Einfallswinkel, von der Normalen an gerechnet, 35° übersteigt. Athermane Körper besitzen ein bedeutend größeres Reflexionsvermögen als diathermane. Das Gesetz der Reflexion der Wärmestrahlen stimmt mit jenem der Lichtstrahlen ganz überein; es bleibt der reflectirte Strahl in der Einfallsebene, und der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich. Ein metallener Hohlspiegel sammelt darum die Wärmestrahlen, welche von einer gegenüberstehenden Quelle ausgehen, in seinem Brennpunkte. Stellt man ein Thermometer mit der Kugel in den Brennpunkt desselben, und bringt in einige Entfernung davon einen erwärmten Körper, der seine Strahlen auf den Spiegel schicken kann; so bemerkt man alsogleich eine Erhöhung der Temperatur im Brennpunkte, zum Beweise, daß sich

dort die Wärmestrahlen vereinigt haben, und daß sie daher vom Spiegel nach dem angeführten Gesetze zurückgeworfen worden seyen. Stellt man zwei solche Spiegel gegen einander (Fig. 286), und bringt in den Brennpunkt des einen den erwärmten Körper, in den des anderen eine Kugel des Thermometers; so wird auch da eine Temperaturerhöhung wahrgenommen, welches nur durch Reflexion der Wärme in beiden Spiegeln erklärt werden kann. Weil sich die Wärmestrahlen in demselben Brennpunkte der Hohlspiegel vereinigen, in welchem die Lichtstrahlen sich schneiden; so muß auch für erstere der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich seyn.

211. Das Verhältniß des Strahlungsvermögens eines Körpers zu seinem Absorptions- und Reflexionsvermögen und der Einfluß der Oberfläche der Körper auf dasselbe sind in practischer und theoretischer Hinsicht gleich wichtig. Sie geben uns den nützlichen Wink, Körper, welche die Wärme zurückhalten sollen, wie z. B. Dampfzylinder, Wärmeleitungsröhren, Feuerschirme rc. mit polirter, am besten metallischer Oberfläche zu versehen. Es beruht auf diesem Grundsatze auch der Gebrauch eines Differenzial-Thermometers, wovon eine Kugel versilbert ist, als Pyroskop, d. i. als Meßinstrument für die strahlende Wärme. Weil nämlich die Wärmestrahlen von der metallischen Oberfläche eines so adjustirten Differenzial-Thermometers reflectirt werden, während sie auf die unbedeckte Kugel frei einwirken und die Flüssigkeit im Instrumente in Bewegung setzen; so wird man aus der Bewegung der Flüssigkeit in diesem Instrumente auf die dasselbe treffenden Wärmestrahlen schließen können.

Aus den vorhergehenden Grundsätzen erklären sich viele Erscheinungen, z. B. der Nutzen der schwarzen Farbe der Menschen im heißen Klima und die wohlthätige Einrichtung der Natur, daß sich bei großer Hitze auf ihrer Haut eine glänzende Flüssigkeit ausscheidet; warum Flüssigkeiten in alten (berußten), am Feuer stehenden Töpfen früher (nach Fox $6^1/_2$ mal früher) kochen, als in neuen; die wohlthätige Einrichtung, daß die aufwärts gekehrte Seite der Blätter bei Pflanzen meistens glänzender, als die der Erde zugewendete ist; die erquickende Kühle im Freien, zur Zeit, wo es in Städten erstickend heiß ist; die geringe Abkühlung der Luft in Städten während der Nacht und viele andere Erscheinungen, welche in die Meteorologie gehören. Auch die oben erwähnte Spaltung eines Wärmestrahles beim Uebergange von einem Mittel in ein anderes, ist unzähliger Anwendungen fähig. Auf ihr beruht der Nutzen der Doppelfenster, Doppelthüren, der weiten Kleider, die schlechte Leitungsfähigkeit der Pelzwerke, Federn, des Schnees rc., bei denen ein Wärmestrahl unzählige Reflexionen erleidet.

212. Körper senden unter allen Umständen, selbst bei der geringsten Temperatur und auch in einem Mittel, welches wärmer ist, als sie selbst, Wärmestrahlen aus, und es besteht daher zwischen einem Systeme von Körpern bei jeder Temperatur ein beständiger Wärmeaustausch. Der wärmere, so wie der kältere, strahlet Wärme aus und empfängt dafür andere von seiner Umgebung, und das Gleichgewicht besteht nur in einer Gleichheit des Empfangs und der Abgabe, der Emission und Absorption. Es heißt darum auch bewegliches

Gleichgewicht. Auf dieser Wechselwirkung der Körper beruht die scheinbare Reflexion der Kälte mittelst Hohlspiegel. Ueber strahlende Wärme siehe vorzüglich Biot in Pogg. Ann. 38. 1; 39. 250; 436 und 544. Melloni ebend. 39. 1; 45. 57. Forbes ebend. 45. 64. 442.

213. Die Wärme, welche in das Innere eines Körpers eingedrungen ist, sucht sich darin so zu vertheilen, daß alle Punkte dieselbe Temperatur erlangen. Die Geschwindigkeit, womit sich die Wärme im Inneren eines Körpers fortpflanzt, ist der Maßstab für die innere Leitungsfähigkeit desselben, und man nennt denjenigen einen besseren Leiter, dessen innere Leitungsfähigkeit größer ist. Ueberhaupt pflegt man einen Körper, dessen Leitungsfähigkeit gering ist, einen schlechten, und einen solchen, dessen Leitungsfähigkeit groß ist, einen guten Leiter der Wärme zu nennen. Erstere heißen auch oft, wiewohl unrichtig, Nichtleiter. Man sieht zugleich, daß die äußere (oberflächliche) Leitungsfähigkeit eines Körpers von seiner inneren wohl unterschieden werden müsse.

214. Die innere Fortpflanzung der Wärme wird durch den Aggregationszustand der Körper modificirt. In festen Körpern geht die Wärme von einem Theilchen, welches unmittelbar von der Wärmequelle erwärmt wurde, in das zunächst daran grenzende, von diesem in das folgende u. s. w., bis sie im ganzen Körper ins Gleichgewicht gekommen ist. Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme in festen Körpern fordern ungemeine Vorsichten und eine sehr große Genauigkeit; ein Umstand, der macht, daß man noch keineswegs die verschiedenen Körper nach ihrer Leitungsfähigkeit im angegebenen Sinne zu ordnen im Stande ist.

Franklin und Inghenhouß untersuchten die Erwärmungsgeschwindigkeit der Metalle, indem sie gleich dicke und gleich lange Metalldrähte, wie die Zähne eine Kammes, an ein Holzstück befestigten, sie gleichförmig mit Wachs überzogen, dann senkrecht mit dem freien Ende in heißes Leinöhl tauchten und aus der Höhe, bis zu welcher das Wachs in derselben Zeit an verschiedenen Metallen schmolz, auf ihre Leitungsfähigkeit schlossen. Anders verfuhr Despretz. Er gab den zu untersuchenden Körpern die Gestalt gleicher Prismen, überzog ihre Oberfläche mit einer Schichte eines schwarzen Firnisses, um ihnen ein gleiches Strahlungsvermögen zu ertheilen, versah sie an verschiedenen Punkten mit Löchern, die bis in die Mitte der Masse reichten, stellte Thermometer darein, füllte die Zwischenräume mit Quecksilber oder Oehl aus, und erwärmte sie mittelst Lampen, die so angebracht waren, daß das der Wärmequelle nächste Thermometer eine bestimmte Temperatur angab. Wurde nun der Wärmegrad beobachtet, den jedes Thermometer, wenn es einen stationären Stand erreicht hatte, zeigte; so konnte man daraus und aus der Temperatur der Luft die Verhältnisse der Leitungsfähigkeit berechnen. Man kann die Folge von Metallstücken in Betreff ihrer Wärmeleitung schon durch die bloße Empfindung bestimmen, wenn man sie mit einem Ende einer bestimmten Wärmequelle aussetzt, und das andere Ende mit der Hand berührt. (Pogg. Ann. 19. 507.)

Auf obige Weise fanden Franklin und Inghenhouß, daß Metalle, vom besten Leiter angefangen, so auf einander folgen: Silber,

Kupfer, Gold, Zinn, Eisen, Stahl, Blei. Nach Fischer ist die durch seine Versuche bestimmte Ordnung der Metalle folgende: Silber, Kupfer, Gold (nicht ganz rein), Palladium, Platin. Despretz fand das Leitungsvermögen folgender Körper von der ihnen beigesetzten Größe: Gold 1000, Silber 973, Platin 981, Kupfer 898.2, Eisen 374.3, Zink 368.0, Zinn 303.9, Blei 179.6, Marmor 23.6, Porcellan 12.2. Muncke's Versuchen zu Folge, nimmt die Leitungsfähigkeit ab, wenn die Temperatur steigt. Nach ihm ist bei mittleren Temperaturen die Leitungsfähigkeit des Glases = 1 gesetzt, die des Holzes = 0.6756, jene des gebrannten Thones = 0.9334 Es bedarf keiner künstlich angestellten Versuche, um sich zu überzeugen, daß die Metalle zu den besseren, die Erdarten, Glas, Asche, Kohle, Holz, Wolle, Seide 2c. zu den schlechteren Leitern gehören. Uebrigens ist es sehr wahrscheinlich, daß die innere Fortpflanzung der Wärme auch durch Strahlung vor sich gehe, und daß eine Masse im Inneren desto besser leite, je homogener sie ist, und je weniger sie von Zwischenräumen unterbrochen wird Aus der verschiedenen Leitungsfähigkeit fester Körper erklärt man mit Leichtigkeit das Warmhalten unserer Kleider; warum Bäume durch Umwinden mit Stroh, und Saaten durch eine Schneedecke vor Frost gesichert werden; warum hölzerne Stuben wärmer sind, als gemauerte; warum man metallene Gefäße mit hölzernen Handgriffen versieht; warum man auf hölzernen Böden wärmer steht, als auf steinernen; warum Reiter durch die Steigbügel im Winter so viel Kälte zu leiden haben; warum man im Winter wohl Holz, aber nicht Eisen oder ein anderes Metall mit der Zunge ungestraft berühren darf. Hierauf beruhet auch die zweckmäßige Einrichtung unserer Oefen und Kochgefäße nach Rumford's Angabe. (Dessen schöne Versuche sind in Gilb. Ann. Bd. 4, und in seinen kleinen Schriften, Weimar 1805, zu finden.)

215. Bei tropfbar flüssigen Körpern ist die Fortpflanzung der Wärme verschieden, je nachdem die Erwärmung von oben oder von unten Statt findet. Wird die Erwärmung von oben veranstaltet, so geht die Fortpflanzung der Wärme in ihnen so vor sich, wie in festen Körpern, und da bewähren sich tropfbare Flüssigkeiten durchaus als schlechte Wärmeleiter; geschieht aber die Erwärmung von unten, so steigen die bereits erwärmten Theile wegen ihres kleineren specifischen Gewichtes in die Höhe und machen kälteren Platz. Es entsteht daher eine Strömung in der Flüssigkeit, welche die Erwärmung bedeutend beschleunigt. Man kann sie sichtbar darstellen, wenn man, nach Rumford's Anleitung, fein zertheilten Bernstein in Wasser gibt und dieses dann erwärmt; da sieht man die Bernsteinstücke im Inneren der Masse aufwärts, in der Nähe der Wände aber abwärts ziehen.

216. Bei ausdehnsamen Flüssigkeiten ist die unmittelbare Mittheilung der Wärme zwar nicht factisch nachgewiesen, kann aber der Analogie nach vorausgesetzt werden. Die Fortpflanzung der Wärme durch das Aufsteigen der erwärmten Theile ist aber hier in einem noch stärkeren Grade, als bei tropfbaren Flüssigkeiten vorhanden.

Die Fortpflanzung der Wärme durch Strömungen lehrt, daß Flüssigkeiten am besten und am leichtesten erwärmt werden, wenn man die Wärme von unten auf sie wirken läßt; aus ihr erklärt sich die langsame Erwärmung hoher, auf die gewöhnliche Weise geheizter Zimmer, und die Ungleichheit der Temperatur an der Decke und am Fußboden. Eben darauf beruht auch die sogenannte Luftheizung, mit deren Ver-

vollkommnung sich besonders Meißner befaßt hat. Nach dieser Methode kann die Luft in einem Gemache auf eine zweifache Art erwärmt werden. Man kann den Ofen in ein abgesondertes, kleines, geschlossenes Gemach (Heizkammer) stellen, und die daselbst befindliche, stark erwärmte Luft in die zu beheizenden Zimmer, deren Anzahl sich oft auf drei oder vier beläuft, durch eine etwa 4—5 Fuß über dem Fußboden angebrachte Oeffnung leiten, die kalte aber, durch einen ähnlichen Canal, der sich in der Nähe des Fußbodens befindet, dahin zurückführen; man erspart dabei den Raum für den Ofen, entgeht der oft so lästigen strahlenden Wärme, kann die Wärme der Zimmer durch Schließen und Oeffnen der Luftlöcher nach Belieben reguliren und soll auch Brennmateriale ersparen. Das zweite Verfahren besteht darin, daß man den Ofen mit einem thönernen oder auch metallenen Schirm umgibt, welcher etwa 6 Zoll vom Ofen absteht. So wie die Luft in dem Zwischenraume erwärmt ist, steigt sie in die Höhe, die kältere folgt von unten nach, und man kann so mit einem einzigen Ofen ein sehr großes Gemach ziemlich gleichförmig erwärmen. (Heizung mit erwärmter Luft, von P. T. Meißner. Wien, 1827.)

217. Zu den Bewegungsgesetzen der Wärme gehören auch jene, die man bei Versuchen über die Abkühlung warmer Körper in kälteren Mitteln wahrgenommen hat. Solche Versuche haben mehrere angestellt, darunter müssen aber die von Rumford und vorzüglich jene von Dulong und Petit besonders hervorgehoben werden. Bei Rumford's Versuchen wurde nicht unterschieden, ob der Körper die abgegebene Wärme durch Strahlung oder durch Mittheilung an die Luft verloren habe; man brachte ihn in ein großes Zimmer von bekannter und beständiger Temperatur, bestimmte an einem damit in Verbindung stehenden Thermometer die Temperatur nach gewissen Zwischenzeiten, und nahm daraus das Gesetz der Erkaltung ab. Bei Dulong's und Petit's Versuchen wurden aber sowohl die Gesetze des Wärmeverlustes durch Strahlung, als auch die des Verlustes durch Mittheilung besonders bestimmt. Um mit aller möglichen Genauigkeit zu verfahren, wurde durch vorläufige Versuche ausgemittelt, daß eine Flüssigkeit, wie z. B. Quecksilber, in einem Gefäße von einerlei Substanz eingeschlossen, das Grundgesetz der Erkaltung in seiner vollen Reinheit und Einfachheit darstelle, ohne durch eine mäßige Veränderung der Größe (man nahm Kugeln von 2—7 Centimeter Durchmesser), oder der Gestalt des Gefäßes (es wurde mit Kugeln und Cylindern experimentirt) gestört zu werden. Bei dem eigentlichen Versuche wurde ein Quecksilberthermometer bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt, und hierauf schnell in einen Ballon von Kupfer gegeben, der zur Vermeidung aller Einwirkung durch Strahlung innerlich mit Lampenruß geschwärzt war und sich in einem Wasserbade von bekannter Temperatur befand. Um die Gesetze der Erkältung durch Strahlung zu erfahren, wurde im Ballon die Luft möglichst verdünnt und selbst der Rest derselben in Rechnung gebracht, das erwähnte Thermometer hineingesetzt, so daß seine Kugel des Ballons Mittelpunkt einnahm, und endlich der Stand des Thermometers nach gleichen Zwischenzeiten beobachtet. Der Quotient aus der Temperaturänderung und der dazu verwendeten Zeit

gab die Abkühlungsgeschwindigkeit an. Auf gleiche Weise wurde auch verfahren, um die Erkaltung durch Mittheilung auszumitteln, nur mit dem Unterschiede, daß der Ballon mit irgend einer trockenen Luftart gefüllt war, und daß man von der gesammten Erkaltung nach der Hand die durch Strahlung bewirkte abzog. Mittelst solcher Versuche fand man folgende Resultate: 1) Nicht alle Körper erkalten gleich schnell, selbst wenn sie eine gleiche Form, Größe und Oberfläche haben. 2) Die Erkaltung in der Luft geht desto schneller vor sich, je größer der Temperaturunterschied zwischen dem erkaltenden Körper und seines Mittels ist; doch stehen die Erkaltungsgeschwindigkeiten nicht, wie Newton meinte, im geraden Verhältnisse mit den Temperaturunterschieden, nähern sich aber diesem Verhältnisse desto mehr, je geringer der genannte Unterschied ist. 3) Im leeren Raume von beständiger Temperatur läßt sich die Erkaltungsgeschwindigkeit durch die Formel $M (a^t - 1)$ ausdrücken, wo t die Temperaturdifferenz zwischen dem Erkaltungsorte und dem erkaltenden Körper, M und a beständige Größen sind, von denen $a = 1.0077$ ist. Die Erkaltungsgeschwindigkeit nimmt daher ab, wie die Glieder einer geometrischen Progression, vermindert um eine beständige Größe, während die Temperaturüberschüsse eine arithmetische Reihe darstellen. 4) Die Erkaltung, welche ein Gas für sich, abgesehen von der Ausstrahlung, bewirkt, ist völlig unabhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche der Körper, und hängt bloß von der Temperaturdifferenz zwischen dem Gase und dem erkaltenden Körper und von der Spannkraft des Gases ab. Diese Erkaltungsgeschwindigkeit läßt sich durch die Formel $m t^b$ ausdrücken, in welcher t die Temperaturdifferenz, $b = 1.233$ bedeutet, m aber eine Größe ist, welche von der Natur des Gases und von den Dimensionen des erkaltenden Körpers abhängt. Sie ändert sich daher in einer geometrischen Progression, wenn die Temperaturüberschüsse auch eine geometrische bilden. Die gesammte Abkühlung wird demnach durch $M (a^t - 1) + m t^b$ ausgedrückt.

218. Nach den erwähnten Erkaltungs- und Erwärmungsgesetzen geht auch die Fortpflanzung der Wärme im Inneren der Körper vor sich, weil dazu nur nothwendig ist, daß ein Theil eines solchen Körpers wärmer ist als ein anderer. Wird z. B. eine Metallstange mit einem Ende in eine Wärmequelle gebracht, so bekommen nur die äußersten Theile dieses Endes die Wärme unmittelbar von der Wärmequelle. Sobald aber ein Theilchen der Materie nur im Mindesten mehr als das nächste daran grenzende erwärmt ist, muß es diesem Wärme mittheilen, von diesem Theilchen bekommt sie wieder sein benachbartes u. s. f., und so erhält jeder materielle Punkt der Stange von dem vorhergehenden Wärme, und gibt sie an den nachfolgenden ab, wirkt aber auch auf die in einiger Entfernung befindlichen Punkte vor und hinter sich so, daß die Fortpflanzung im Inneren als eine wahre Strahlung von Punkt zu Punkt angesehen werden muß. Die Größe des Wärmezuwachses eines Punktes ist demnach die Differenz der empfangenen und abgegebenen Wärme, und die Größe der Erwärmung hängt von dieser und der Em-

pfänglichkeit des Körpers für die Wärme ab. Man kann ohne den geringsten Fehler annehmen, daß diese Erkaltung und Erwärmung eines Theilchens durch das daran grenzende nach dem Newton'schen Gesetze vor sich gehe, und daher dem Wärmeunterschiede proportionirt sey. Während die gegenseitige Erwärmung und Erkaltung im Inneren der Masse vor sich geht, erfolgt auch ein Wärmeverlust an der Oberfläche, theils durch unmittelbare Mittheilung an die Umgebung, theils durch Ausstrahlen. Da dieser Verlust mit der Temperatur wächst, so sieht man leicht ein, daß die Temperatur obiger Stange im Allgemeinen nur so lange zunehmen kann, bis der Wärmezufluß dem Wärmeverluste gleich kommt. Sobald dieses Statt findet, muß die Temperatur der Stange stationär seyn.

Man kann die Vertheilung der Wärme in einem Körper durch Versuche bestimmen und sich überzeugen, daß die Temperatur von der unmittelbar erhitzten Stelle an gegen das fernere Ende abnimmt, und zwar sind die Temperaturen Glieder einer geometrischen Reihe, wenn die Entfernungen der erwärmten Stellen von der Wärmequelle Glieder einer arithmetischen Reihe sind. Dieses Gesetz hat Biot durch einen directen Versuch bestätiget, indem er an mehreren Stellen einer Eisenstange Thermometer anbrachte, deren Kugeln in die Stange eingesetzt waren, und ihre Temperatur, nachdem sie constant geworden war, beobachtete.

Drittes Kapitel.

Gesetze des Gleichgewichtes der Wärme.

219. Die Wärme eines Körpers, dessen Temperatur weder im Wachsen noch im Abnehmen begriffen ist, muß sowohl mit der Wärme der Umgebung, als auch mit den Kräften, welche den kleinsten Theilen des Körpers eigen sind, im Gleichgewichte stehen. Das erstere Gleichgewicht wird Statt finden, wenn der Körper eben so viel Wärme aussendet, als er von der Umgebung bekommt, das letztere, wenn die Theile desselben in eine solche Entfernung von einander gebracht sind, daß die Kraft, welche die Annäherung der Theile bestimmt, der abstoßenden Kraft der Wärme gleich und entgegengesetzt ist. Daher muß hier von der Wärmemenge in Körpern und von den Wirkungen der Wärme auf Körper die Rede seyn.

A. Capacität und specifische Wärme.

220. Zwei heterogene Körper von einerlei Temperatur und gleich viel Masse enthalten doch nicht gleich viel Wärme in sich, sondern es braucht jeder Körper zu einer bestimmten Temperatur eine gewisse, von seiner Natur und seiner Masse abhängige Wärmemenge. Die Wärmemenge, welche ein Körper von der Masse = 1 braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° C. anzunehmen, heißt seine specifische Wärme, und das Vermögen, die specifische Wärme aufzunehmen, seine Capacität für die Wärme. Wenn man die specifische Wärme

der Körper durch Zahlen ausdrücken will, so muß man erst darüber überein gekommen seyn, was man als Einheit der Wärmemenge annimmt. Als solche wird jene Wärmemenge angenommen, welche eine Masseneinheit Eis von 0° C. braucht, um in Wasser von derselben Temperatur überzugehen. Demnach ist die Wärmemenge 2, 3, 10 ꝛc. diejenige, welche 2, 3, 10 Masseneinheiten Eis von 0° C. in Wasser von 0° C. verwandelt. Die Capacität ist der specifischen Wärme proportionirt. Gewöhnlich nimmt man die Capacität des reinen Wassers als Einheit an, und mißt die der übrigen Körper nach dieser Einheit. Es hat daher ein Körper die Capacität 2, 3 ꝛc., wenn seine specifische Wärme 2, 3 ꝛc. mal größer ist, als die des Wassers. Heißt die Capacität eines Körpers C, seine specifische Wärme S, und σ die specifische Wärme des Wassers; so hat man $S:\sigma = C:1$, mithin $S = C\sigma$. Die Folge wird lehren, daß $\sigma = \frac{1}{75}$ ist.

221. Die Capacität der Körper für die Wärme läßt sich durch mehrere Mittel bestimmen. Eines der einfachsten besteht darin, daß man den Körper, um dessen Capacität es sich handelt, bis zu einem bestimmten Grade erhitzt, ihn hierauf in eine bestimmte Menge Wasser oder in eine andere Flüssigkeit von bekannter Temperatur senkt, und die gemeinschaftliche Temperatur des Gemenges bestimmt, wenn das Gleichgewicht der Wärme hergestellt ist. Es ist klar, daß der Körper, dessen Capacität auf diesem Wege erforscht werden soll, nicht in der Flüssigkeit, worein man ihn taucht, auflöslich seyn solle. Auch darf man nicht vergessen, daß dieses Verfahren nur in soferne richtig ist, als sich die Capacität der Flüssigkeit nicht mit der Temperatur ändert. Mit voller Sicherheit ist dieses nur bei Temperaturen der Fall, deren Differenz nicht gar groß ist; darum darf auch die Temperaturdifferenz beider Körper nicht bedeutend seyn, und man kann durch Anwendung größerer Massen es dahin bringen, daß man es auch bei kleinen Temperaturunterschieden mit großen Wärmemengen zu thun hat. Ueberdieß muß man auf den Wärmeverlust durch das Gefäß und die Abkühlung während der Zeit des Versuches Rücksicht nehmen.

Es werde Wasser von 0° C. mit einer gleich großen Masse Eisenfeile von 36° vermengt und die Temperatur des Gemenges = 4° gefunden. Es bringt demnach die Wärmemenge, welche die Temperatur des Eisens um 36 — 4 = 32° erhöht, im Wasser nur eine Temperaturerhöhung von 4° hervor, und jenes braucht daher achtmal weniger Wärme als Wasser, um dieselbe Temperaturerhöhung zu erfahren, oder seine Capacität ist $\frac{1}{8} = 0.125$. Wenn die Massen der zwei zu mengenden Körper ungleich sind, wird man auch nicht so leicht durch bloßes Raisonnement zum Ziele gelangen, sondern man muß zu diesem Ende eine eigene Rechnung führen. Hat der wärmere Körper die Masse M, die Capacität C, und vor dem Versuche die Temperatur T, der kältere die Masse m, die Capacität c, und vor dem Versuche die Temperatur t, ist ferner die stationäre Temperatur des Gemenges nach dem Versuche τ und die specifische Wärme des Wassers σ; so hat der erstere die Wärmemenge $MC(T-\tau)\sigma$ verloren, der andere die Wärmemenge $mc(\tau-t)\sigma$ gewonnen, und es ist

$$MC\sigma(T-\tau) = mc\sigma(\tau-t) \text{ oder } \frac{C}{c} = \frac{m(\tau-t)}{M(T-\tau)}.$$

Auf diesem Wege kann man auch den Werth von σ finden. Man menge eine Quantität Eis = m von der Temperatur 0° C., und eine Wassermenge M von der Temperatur T, die hinreicht, alles Eis zu schmelzen, und bemerke die Temperatur t der Mischung. Eine Masseneinheit Eis braucht zum Schmelzen die Wärmemenge 1, mithin die Eismasse m die Wärmemenge m, dem daraus entstandenen Wasser ist hier die Wärmemenge $m t \sigma$ zugewachsen, und das ursprünglich vorhandene Wasser hat die Wärmemenge $M (T - t) \sigma$ verloren. Dieß gibt die Gleichung

$$m + m t \sigma = M (T - t) \sigma, \text{ woraus } \sigma = \frac{m}{M (T - t) - m t}$$

folgt. Der wirkliche Versuch gibt $\sigma = \frac{1}{75}$.

222. Ein anderes Mittel, die Capacität zu bestimmen, beruht darauf, daß ein warmer Körper bei übrigens gleichen Umständen desto schneller bis zur Temperatur seines Mittels abkühlt, je kleiner seine Capacität ist. Um durch dieses Mittel zu einem richtigen Resultate zu gelangen, muß man die Körper, um die es sich handelt, mit gleicher Oberfläche versehen, und zu diesem Ende jeden derselben in ein fein polirtes, metallenes Gehäuse einschließen, bis zu einem bestimmten Grade erwärmen und dann die Zeit bestimmen, die er braucht, um die Temperatur der Umgebung anzunehmen. Diese Zeit steht im geraden Verhältnisse mit seiner Capacität. Dieses Verfahren hat J. T. Mayer kennen gelehrt, und Dulong und Petit haben es mit Vortheil angewendet.

223. Ein drittes Mittel beruht auf der Bestimmung der Eismenge, die ein Körper zu schmelzen vermag. Man braucht zu seiner practischen Ausführung ein eigenes Instrument, welches Laplace und Lavoisier angegeben, und Calorimeter genannt haben. Dieses besteht aus zwei Gefäßen (Fig. 287), wovon eines in dem anderen steckt. Das innere B dient zur Aufnahme des zu untersuchenden Körpers A und des zu schmelzenden Eises, während das äußere C bloß zum Behälter desjenigen Eises bestimmt ist, das den erwärmenden Einfluß der äußeren Umgebung auf das innere Eis abhalten soll. Das innere Gefäß hat unten ein kleines Behältniß D, welches mit einem Hahne verschlossen und durch ein Sieb vom oberen Theile getrennt ist; es dient zur Aufnahme des Wassers, das aus dem inneren Eise entsteht. Beim Gebrauche wird zuerst der Zwischenraum zwischen beiden Gefäßen mit klein zerstoßenem Eise von 0° C. angefüllt, und auch das Innere fast ganz damit versehen. Hierauf kommt der Körper A hinein, und zwar, wenn er fest ist, in ein netzartiges Gefäß, wenn er tropfbar ist, in eine eigens dazu bestimmte Büchse; der übrige Raum wird mit Eis erfüllt, der Deckel aufgesetzt, auch mit Eis belegt, die Zeit abgewartet, bis A die Temperatur 0° C. hat, die vom inneren Eise entstandene Wassermenge genau bestimmt und hieraus die Capacität von A berechnet. Ist C die Capacität des Körpers, mit dem man den Versuch anstellt, T seine anfängliche Temperatur und M seine Masse, σ die specifische Wärme des Wassers, so ist $M T C \sigma$ seine Wärmemenge. Wird eine Eismasse = N Eis von 0° C. geschmolzen, so ist die Zahl N zugleich die dazu nöthig gewesene Wärmemenge, und man hat demnach

$$MTC\sigma = N, \text{ und hieraus } C = \frac{N}{MT\sigma}.$$

Ist die zu untersuchende Masse tropfbar, so muß man auch die Masse m des Gefäßes, welches man beim Versuche braucht, seine anfängliche Temperatur t und seine Capacität c vorläufig kennen. Heißt in diesem Falle N' die geschmolzene Wassermenge, so hat man offenbar

$$\sigma\,(MCT + mct) = N', \text{ und daher } C = \frac{N' - mct\sigma}{MT\sigma}.$$

Dieß Verfahren kann auch zur Bestimmung des Werthes von σ dienen, wenn man Wasser als den zu untersuchenden Körper anwendet. Hiebei ist

$$C = 1, \text{ mithin } \sigma = \frac{N'}{MT + mct}.$$

224. Keines der angeführten Mittel läßt sich, in der Weise angewendet, wie hier gesagt wurde, zur Bestimmung der Capacität der Gase rauchen, weil man wegen ihrer zu geringen Dichte ein zu großes Volum derselben anwenden müßte, um ein nur mäßig genaues Resultat zu erhalten. Die Abkühlungsmethode (222) ist für solche Körper überhaupt unanwendbar, weil auf ihre Abkühlungszeit die größere oder kleinere Beweglichkeit ihrer Theile einen bedeutenden Einfluß ausübt, und auch die Gefäße einen zu großen Theil ihrer Wärme aufnehmen; aber die Mischungsmethode läßt sich so modificiren, daß man durch sie der Wahrheit sehr nahe kommen kann, und zwar auf folgende Weise: Man leite das Gas, nachdem man es in einem mit kochendem Wasser umgebenen Gefäße auf 100° C. gebracht hat, in einem gleichförmigen, langsamen Strome in ein Rohr, welches in schlangenförmigen Windungen durch ein mit Wasser von bestimmter Temperatur gefülltes, geschlossenes Gefäß geht, lasse das Gas durch das andere Ende der Röhre wieder entweichen, und beobachte die Temperatur des Wassers, nachdem sie stationär geworden ist. Da in letzterem Zustande dem Wasser vom Gase gerade so viel Wärme zugeführt wird, als es an die Umgebung abgibt; so werden offenbar die Erhöhungen der Temperatur, welche das Wasser bei übrigens gleichen Umständen durch verschiedene Gase erhalten hat, den Capacitäten dieser Gase proportionirt seyn. Setzt man nun die Capacität eines Gases = 1, wie man dieses mit der atmosphärischen Luft zu thun pflegt; so erhält man leicht die Capacitäten der übrigen Gase nach dieser Einheit. Diese Methode kann man auch zur Bestimmung der Capacität der Dünste anwenden, nur muß man dem zu erwärmenden Wasser schon vorläufig eine Temperatur ertheilen, die nicht geringer ist, als diejenige, bei welcher sich die Dünste gebildet haben, damit diese nicht in den tropfbaren Zustand überzugehen gezwungen werden.

225. Um die Capacität der Gase in Bezug auf die des Wassers zu finden, sucht man die Erwärmung, welche eine bestimmte Menge atmosphärischer Luft, die man successiv durch eine der vorigen ähnliche Röhre leitet, im Wasser hervorbringt, und berechnet daraus das Verhältniß der Capacitäten des Wassers und der atmosphärischen Luft.

Alle diese Capacitäten beziehen sich auf die Masse = 1; wollte man sie auf das Volum = 1 reduciren, und daher die Zahlen, welche die Capacitäten ausdrücken, so abändern, daß sie der Wärmemenge proportionirt sind, welche man braucht, um die Temperatur einer Volumseinheit eines Körpers um 1° C. zu erhöhen; so dürfte man obige Größen nur mit der Dichte der entsprechenden Körper multipliciren.

226. Bei allen aufgezählten Untersuchungsmethoden steht der betreffende Körper unter einem constanten Drucke; er zieht sich daher während des Versuches durch Erkältung zusammen, und dehnt sich durch Erwärmung aus, und man erfährt seine Capacität unter einem beständigem Drucke und unter veränderlichem Volum. Man kann die Untersuchung bei verschiedener Größe dieses Druckes anstellen, von verschiedenen Temperaturen der zu untersuchenden Körper ausgehen und sehen, wie die Capacitäten der Körper unter so verschiedenen Umständen ausfallen. Aber damit ist nicht alles geschehen, sondern man muß auch die Capacitäten der Körper kennen lernen, wenn sich ihr Volum während des Versuches nicht ändert, d. h. die Capacitäten unter beständigem Volum und veränderlichem Drucke. Diese kann man, wenigstens vor der Hand, noch nicht unmittelbar finden.

Für Gase gelangt man auf folgendem Wege zum Ziele: Es hängt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in einem Gase von dem Verhältnisse seiner Expansivkraft zur Dichte, und von der bei der Compression der Gasschichten in der verdichteten Welle eintretenden Wärmeentwicklung, letztere aber von dem Verhältnisse der Capacität unter beständigem Drucke zu der unter beständigem Volum ab. Berechnet man demnach die Schallgeschwindigkeit in diesem Gase aus der Tonhöhe einer Gassäule von bestimmter Länge, und hierauf ohne Rücksicht auf den Wärmeeinfluß nach der Newton'schen Formel (I. 324); so gibt das Quadrat des Quotienten, den man durch Division der ersteren Geschwindigkeit durch die letztere erhält, das Verhältniß der Capacität des Gases unter beständigem Drucke zu dem unter beständigem Volum. Da man nun erstere Capacität aus dem Vorhergehenden kennt, so ist es leicht, die letztere zu finden. Für feste Körper hat man in der neuesten Zeit einen ähnlichen Weg eingeschlagen. Wird ein solcher, drahtförmig gezogener Körper schnell durch eine bedeutende Kraft gespannt, so daß er eine Verlängerung erleiden muß, bei der nun erlangten Länge unverändert erhalten und gleich darauf seine Tonhöhe untersucht, so wird aus derselben seine Spannung berechnet werden können. Untersucht man einige Zeit darauf seine Tonhöhe abermals, so kann aus dieser wieder seine Spannung berechnet werden, und der Unterschied beider Spannungen kann nur durch eine Temperaturänderung des Drahtes erzeugt werden, die er durch eine Volumänderung erlitten hat, und man ist im Stande, diese Temperaturänderung, daraus das Verhältniß zwischen der Capacität bei constantem Drucke und bei constantem Volum abzunehmen, und so letztere selbst zu finden. Für tropfbare Körper hat man noch kein Mittel zu demselben Zwecke. (Dulong in Zeitsch. 6. 474. Weber in Pogg. Ann. 20. 177.)

227. Aus den verschiedenen, bis jetzt angestellten Untersuchungen ergeben sich nun folgende Resultate: 1) Die Capacitäten verschiedener fester und tropfbarer Körper sind verschieden, sie mögen bei demselben Drucke oder bei demselben Volum angenommen werden. Die Capaci-

täten der chemisch einfachen Gase sind einander gleich, und zwar sowohl die unter beständigem Drucke, als die unter beständigem Volum; wenigstens liegen die bei Versuchen gefundenen Differenzen innerhalb der wahrscheinlichen Fehlergrenzen. Der Exponent des Verhältnisses der Capacitäten unter gleichem Drucke und unter gleichem Volum ist nach Dulong 1.421, nach Moll's und Beck's Schallversuchen 1.4152. Verschiedene chemisch zusammengesetzte Gase haben verschiedene Capacitäten. Bei jedem solchen Gase scheint aber der Exponent des Verhältnisses seiner Capacität unter constantem Drucke zu der unter constantem Volum = 1.337 zu seyn. 2) Die Atome chemisch ähnlich zusammengesetzter Körper scheinen gleiche Capacitäten zu haben, oder was dasselbe ist, bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen haben stöchiometrische Quantitäten (Mengen, die sich wie die Atomengewichte verhalten) gleiche specifische Wärme. Ist A das Atomengewicht, S die specifische Wärme eines Körpers, so ist SA eine Größe, welche für Körper von ähnlicher chemischer Zusammensetzung denselben Werth hat. 3) Die Capacitäten unter demselben Drucke sind sowohl bei den bereits untersuchten festen, als bei den gasförmigen Körpern größer als die unter beständigem Volum, und man muß sich vorstellen, die einem Körper bei constantem Drucke mitgetheilte Wärme werde zum Theile zur Temperaturerhöhung desselben, zum Theile aber zur Vergrößerung seines Volums verwendet. 4) Das Verhältniß der Capacität unter beständigem Drucke zu dem unter beständigem Volum bleibt (wenigstens für Gase) bei allen Temperaturen dasselbe. 5) Die Capacität bei beständigem Drucke wächst sowohl bei festen als bei flüssigen Körpern mit der Temperatur, und ein Körper braucht mehr Wärme, damit seine Temperatur von 100° auf 101° steige, als damit sie von 0° auf 1° erhoben werde. 6) Die Capacität bei beständigem Drucke nimmt bei Gasen (für andere Körper kennt man noch kein Resultat) ab, wenn die Größe des Druckes zunimmt, jedoch in einem geringeren Verhältnisse als der Druck, und man muß z. B. den Druck auf seine 18fache Größe steigern, damit die Capacität auf die Hälfte herabgesetzt werde.

Das Product SA hat nach Dulong und Petit für Metalle, mit Ausnahme von Arsenik und Antimon, den Werth 0.375, so daß die Capacität eines Metalles durch $\frac{0.375}{A}$ ausgedrückt wird. Nach Neumann ist obiges Product, für Metalloxyde, die aus 1 Atom Metall und 1 At. Sauerstoff bestehen, = 0.697; für solche, die aus 2 At. Metall und 3 At. Sauerstoff zusammengesetzt sind, = 1.782; für Sulfuride aus 1 At. Metall und 1 At. Schwefel = 0.757. (Neumann in Pogg. Ann. 23. 1.) Avogadro und Bredow haben dieses Gesetz noch mehr zu verallgemeinern gesucht. (Avogadro in *Ann. de Chimie* 55. 38. Bredow über das Verhältniß der specifischen Wärme zum chemischen Mischungsgewichte. Berlin 1838.)

Capacität einiger fester und tropfbarer Körper.

Name.	Capacität bei beständigem Drucke.	Capacität bei beständigem Volum.
Wasser bei 22° R.	1.0000	—
» bei 80° R.	1.0127	—
Eis.	0.9000	—
Glas (von 0° — 100°)	0.1770	—
» (von 0° — 300°)	0.1900	—
Quecksilber (von 0° — 100°)	0.0330	—
» (von 0° — 300°)	0.0350	—
Schwefel	0.1880	—
Talg	0.2167	—
Holzkohle.	0.2631	—
Leinöhl	0.5280	—
Brennöhl	0.7100	—
Schwefeläther (spec. Gew. 0.7676)	0.6600	—
Eisen	0.1098	0.1026
Kupfer.	0.0949	0.0872
Silber.	0.0557	0.0525
Platin bei 100° C.	0.0335	—
» » 500° »	0.0358	—
» » 1000° »	0.03728	—
» » 1500° »	0.03938	—

Capacität einiger Gase (nach Dulong).

Name.	Capacität unter constant. Volum.	Capacität unter constant. Drucke.	Verhältniß beider Capacitäten.
Atmosphärische Luft	1.000	1.000	1.421
Sauerstoffgas	1.000	1.000	1.415
Wasserstoffgas	1.000	1.000	1.407
Kohlensäuregas	1.249	1.175	1.338
Kohlenoxydgas	1.000	1.000	1.428
Oxydirtes Stickgas	1.227	1.16	1 343
Oehlbildendes Gas	1.754	1.531	1.240

B. Ausdehnung durch die Wärme.

228. Die Wärme steigert die abstoßende Kraft der kleinsten Körpertheilchen. Im Inneren einer Masse hebt sich dieser Zuwachs für jedes Theilchen auf, die an der Oberfläche liegenden aber erleiden einen Druck von innen nach außen, welchem zu Folge sie sich von ihren Nachbartheilchen entfernen, und indem sie dadurch auch für diese die Gleichheit des Zuges und Gegenzuges aufheben, auch sie zur Bewegung nach außen bestimmen. So kommt es, daß alle Theile durch die Wärme von einander entfernt werden, und der Körper ein größeres Volum einnimmt. Man kann sich demnach die Wirkung der Wärme als einen

von innen nach außen auf die Körpertheile gerichteten und den Cohäsionskräften entgegenwirkenden Druck vorstellen. Das Gesetz der Ausdehnung der Körper durch die Wärme muß daher durch die Vertheilung und Größe der Cohäsionskraft in denselben bestimmt werden. Körper, in denen die Cohäsionskräfte gleich vertheilt sind, werden auch beim Erwärmen nach allen Richtungen gleich ausgedehnt werden, und die Theile, welche vor der Erwärmung in einer Kugelfläche lagen, werden sich auch nach der Erwärmung in einer solchen befinden. Anders muß es sich mit Körpern verhalten, in denen die Cohäsionskräfte nach verschiedenen Richtungen verschieden vertheilt sind. Da werden die bei einer bestimmten Temperatur in einer Kugelfläche liegenden Theilchen sich bei einem höheren Wärmegrade in einer anderen Fläche befinden. Der Erfahrung zu Folge sind alle flüssigen Körper, und von den festen die unkrystallisirten gleichförmig dichten, in der Regel von der ersteren Art, eben so die krystallisirten, welche ins vielarige (reguläre oder tessularische) System gehören, und diese dehnen sich beim Erwärmen nach allen Richtungen gleich stark aus. Krystallisirte Stoffe, welche nicht in das genannte System gehören, dehnen sich nach verschiedenen Richtungen verschieden aus, und zwar die ins rhomboedrische oder pyramidale System gehörigen nach der Richtung der Hauptaxe anders, als nach den Richtungen der Nebenaxen, nach allen diesen aber gleich stark; die übrigen haben nach jeder Axe eine andere Ausdehnung. (Neumann in Pogg. Ann. 27. 240.)

229. Bei festen Körpern, die sich nach allen Richtungen gleich stark ausdehnen, bestimmt man unmittelbar meistens nur die lineare Ausdehnung, welche eine bestimmte Temperaturerhöhung erzeugt, und berechnet aus dieser die Vergrößerung des Körperinhaltes. Man bedient sich dazu eigener Instrumente, die man, wiewohl uneigentlich, Pyrometer nennt. Fig. 288 stellt ein solches Instrument vor. Der zu untersuchende Körper AB wird an einem Ende B fest eingespannt, am anderen A hingegen an den kürzeren Arm eines Winkelhebels abc angestemmt, dessen längerer Arm bc über einer eigenen Scale spielt, und darauf gleichsam die Verlängerung der Stange AB vergrößert darstellt. (Nasmyth in Pogg. Ann. 9. 608.) Die Volums- oder kubische Ausdehnung ist das Dreifache der linearen. Heißt nämlich die Dimension, um die es sich handelt, bei der ursprünglichen Temperatur a, das Volum des betreffenden Körpers v, seine lineare, auf diese Dimension bezogene Ausdehnung durch die Erwärmung μa, wo μ einen echten, meistens sehr kleinen Bruch bedeutet, und die Zunahme des Volums ρv; so ist offenbar

$$v : v(1+\rho) = a^3 : a^3(1+\mu^3) = a^3 : a^3(1+3\mu+3\mu^2+\mu^3),$$

oder weil man μ^3, μ^2 gegen μ vernachläßigen und mit v und a^3 dividiren kann,

$$1 : 1+\rho = 1 : 1+3\mu, \text{ mithin } \rho = 3\mu.$$

Bei krystallisirten Körpern erkennt man das Gesetz der Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen, indem man bei verschiedenen Temperaturen ihre Flächen- und Körperwinkel mißt. Zwillingskrystalle und

nach Art der Zwillinge durch einen passenden Kitt verbundene Krystalle mit geschliffener Ebene geben bei einer bestimmten Temperatur, bei welcher nämlich die spiegelnde Fläche eine Ebene bildet, nur ein Bild eines gegenüberstehenden Objectes. Bei der Erwärmung schließen die Flächen der beiden Krystalle einen Winkel ein, und man sieht demnach statt eines Bildes deren zwei, und kann von ihrer Distanz auf den Neigungswinkel der Spiegel, und hiedurch auf das Gesetz der Ausdehnung in der Wärme schließen. (Mitscherlich in Pogg. Ann. 41. 213.)

Nach Mitscherlich verändern sich die ebenen Winkel eines Kalkspathrhomboeders bei einer Temperaturerhöhung von 80° R. um 8½ M., und zwar werden alle stumpfen Winkel kleiner, die complementären spitzigen größer; die Veränderungen stehen mit der Temperatur in geradem Verhältnisse. Die Ausdehnung von 0° — 100° C. nach der Richtung der Hauptaxe ist um 0.00342 größer als nach den anderen Axen. An manchem Krystalle werden aber bei der Erwärmung die stumpfen ebenen Winkel größer und ihre Complementwinkel kleiner. (Pogg. Ann. 1. 125; 10. 137.) Nach Fresnel kann man sich von der ungleichen Ausdehnung der Gipskrystalle nach verschiedenen Richtungen auf folgende Weise überzeugen: Man löse von einem solchen Krystalle sehr dünne Blättchen ab, und leime sie so auf einander, daß sich ihre Axen rechtwinkelig kreuzen, mit einem Leim, der in der Wärme weich wird, und beim Erkalten erhärtet. Erwärmt man ein solches Doppelplättchen, und läßt es hierauf wieder kalt werden, so erscheinen beide Theile desselben auf eine Weise gekrümmt, aus der man abnehmen kann, nach welchen Richtungen in der Ausdehnung der Plättchen die größte Differenz herrsche. Es ist klar, daß diesem nach die bei der doppelten Brechung (104) aufgefundenen Größen sich nur auf eine bestimmte Temperatur (die gewöhnliche Lufttemperatur) beziehen, bei viel höheren oder minderen Wärmegraden aber anders ausfallen müssen.

230. Die Ausdehnung der festen Körper durch die Wärme ist weder für verschiedene Körper und dieselbe Temperaturänderung gleich groß, noch für denselben Körper den verschiedenen Wärmegraden proportionirt, indeß kann man doch für Temperaturen, welche innerhalb des Fundamentalabstandes des Thermometers liegen, die Ausdehnung eines Körpers seiner Temperatur proportional setzen. Bei höheren Temperaturen ist die Ausdehnung viel größer, als nach diesem Gesetze.

Ausdehnung einiger festen Körper von 0° — 100° C.

Körper	Ausdehnung	Körper	Ausdehnung
Spiegelglas	$\frac{1}{1122}$	Kupfer	$\frac{1}{582}$
Flintglas	$\frac{1}{1248}$	Messing	$\frac{1}{533}$
Platin	$\frac{1}{1167}$	Stahl	$\frac{1}{480}$
Spießglanz	$\frac{1}{923}$	Wismuth	$\frac{1}{719}$
Gußeisen	$\frac{1}{901}$	Silber	$\frac{1}{524}$
Weiches Schmiedeeisen	$\frac{1}{819}$	Zinn	$\frac{1}{460}$
Weicher Eisendraht	$\frac{1}{810}$	Blei	$\frac{1}{351}$
Gold	$\frac{1}{682}$	Zink	$\frac{1}{340}$

231. Die Verschiedenheit der Ausdehnung fester Körper für denselben Temperaturunterschied begründet die Möglichkeit, Körper so mit einander zu verbinden, daß sie bei bestimmten Temperaturänderungen

bestimmte Bewegungen annehmen oder unverändert dieselbe Länge beibehalten; auch viele Vorsichten bei der Verbindung verschiedener Körper mit einander werden dadurch nothwendig gemacht. Die ungemeine Kraft, mit der sich solche Körper ausdehnen, wenn sie erwärmt werden, und sich wieder zusammenziehen, wenn man sie abkühlt, läßt sich oft vortheilhaft benützen.

Auf der Verbindung zweier sich ungleich ausdehnenden Metalle beruht Brequet's und Holzmann's Metallthermometer. Brequet's Thermometer (Fig. 289) besteht aus drei zusammengeschraubten, schraubenförmig gewundenen Plättchen von Silber, Gold und Platin, die am oberen Ende A befestiget, und am unteren B mit einem Zeiger versehen sind, der über einer kreisrunden Scale mit der gewöhnlichen Thermometertheilung spielt. Holzmann's Thermometer (Fig. 290) hat die Form einer Taschenuhr. Der eigentliche thermometrische Theil desselben ist ein bogenförmiges Doppelplättchen A aus Eisen und Messing, oder aus Platin und Messing, an welchem letzteres Metall den inneren Theil abgibt. Dieses ist an einem Ende am Gehäuse befestiget, am anderen aber mit einem Rechen a in Verbindung, der mit seinen Zähnen in ein Getriebe eingreift, welches an der Axe eines Zeigers b angebracht ist. Der Zeiger spielt auf einer mit der Thermometerscale versehenen Platte. — Auf der Ungleichheit der Ausdehnung verschiedener mit einander verbundenen oder verschieden erwärmten Körper beruht das Krachen eiserner geheizter Oefen, metallener Dächer oder des Eises an strengen Wintertagen; das Zerreißen eiserner Klammern in Gebäuden, die man bei großer Kälte angebracht hat, ohne ihnen einen Spielraum zu gestatten; die Nothwendigkeit bei metallenen Wasser- oder Dampfleitungsröhren die sogenannten Ausgleichungsröhren anzubringen, an metallenen Kesseln und großen Pfannen ringsum einen Zwischenraum zu lassen; das Zerspringen gläserner Gefäße bei schneller Erhitzung oder Erkältung; das Abschälen oder Zerspringen der Glasur an Gefäßen bei schneller Temperaturänderungen. Die Kraft, mit welcher sich erwärmte Körper ausdehnen, ist im Stande, ungeheure Hindernisse zu überwinden. Man kann durch sie die Kraft starker Pressen ersetzen. Eben so verhält es sich mit der Energie, womit sie sich beim Erkalten zusammenziehen. Molard hat dadurch stark gewichene Mauern in ihre normale Lage zurückgeführt.

232. Die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten durch die Wärme läßt sich unmittelbar dadurch bestimmen, daß man sie als thermometrische Flüssigkeiten behandelt, und sie zum Füllen von Thermometern braucht, welche eine verhältnißmäßig ziemlich große Kugel haben, deren Rauminhalt gegen den der Röhre genau bekannt ist. Wird ein solches Thermometer verschiedenen Temperaturen ausgesetzt, und für jede derselben das Volum der Flüssigkeit bestimmt, so hat man die Aufgabe gelöst. Daß man dabei auf die Ausdehnung des Gefäßes Rücksicht nehmen und ihren Einfluß in Rechnung bringen müsse, versteht sich von selbst. Man kann zu demselben Ziele auch dadurch gelangen, daß man die Dichte der Flüssigkeit bei mehreren Temperaturen nach den (I. 162 und 163) angegebenen Methoden sucht, und daraus auf ihr Volum schließt. Wie die Ausdehnung der Gase durch die Wärme untersucht wird, und was hierüber die Erfahrung lehrt, ist bereits S. 123 u. f. gesagt worden.

233. Durch solche Versuche hat man sich überzeugt, daß jeder tropfbaren Flüssigkeit bei einerlei Temperaturänderung eine besondere Ausdehnung entspreche, und daß sich keine durchaus der Temperatur proportional ausdehne. In der Regel kann man aber doch für Temperaturen, die weit von denen entfernt sind, bei welchen die Flüssigkeiten ihren Aggregationszustand ändern, eine Proportionalität zwischen der Ausdehnung und dem ihr entsprechenden Wärmegrade annehmen. In der Nähe ihres Siedpunktes dehnen sie sich in einem größeren Verhältnisse aus, als die Temperatur wächst, in der Nähe der Temperatur, bei der sie fest werden, verhalten sich aber nicht alle auf gleiche Weise. Einige, z. B. Quecksilber, ziehen sich beim Erkalten immer mehr zusammen, und dehnen sich auch beim Erwärmen stärker aus als bei höheren Temperaturen; bei anderen, wie z. B. beim Schwefel, findet das Gegentheil Statt; ja einige haben gar oberhalb ihres Eispunktes die größte Dichte, und dehnen sich daher bei weiterer Erkaltung unter diesen Punkt aus, statt sich zusammenzuziehen. Dem Wasser kommt diese merkwürdige Eigenschaft zu. Dasselbe hat nach Stampfer die größte Dichte bei 3° R. = 3.75 C., nach Hallström bei 3°.90 C. mit einem wahrscheinlichen Fehler von + 0°.04. (Jahrb. des polytechn. Instit. in Wien. B. 16. Muncke über die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten durch die Wärme in den *Mém. présentés à l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg*, *Tom. I.* Die Resultate dieser Versuche enthält auch Zeitsch. 10. 366. Hallström in Pogg. Ann. 1. 129; 34. 220. Despretz ebend. 41. 58.)

Dichte und specifisches Gewicht des Wassers.

Temperatur.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden.
− 3	1.000463	0.999537	1.043539	56.3511
2	1.000319	0.999681	1.043689	56.3592
1	1.000203	0.999797	1.043810	56.3658
0	1.000113	0.999887	1.043904	56.3708
+ 1	1.000050	0.999950	1.043970	56.3744
2	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
3	1.000000	1.000000	1.044023	56.3772
4	1.000012	0.999988	1.044010	56.3765
5	1.000047	0.999952	1.043972	56.3745
6	1.000106	0.999894	1.043911	56.3712
7	1.000187	0.999813	1.043827	56.3667
8	1.000289	0.999711	1.043720	56.3610
9	1.000413	0.999587	1.043591	56.3540
10	1.000558	0.999442	1.043440	56.3458
11	1.000723	0.999278	1.043268	56.3365
12	1.000906	0.999095	1.043077	56.3262
13	1.001108	0.998893	1.042866	56.3148
14	1.001329	0.998673	1.042636	56.3024
15	1.001567	0.998435	1.042388	56.2890

Temperatur.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden.
16	1.001822	0.998180	1.042122	56.2746
17	1.002095	0.997907	1.041839	56.2593
18	1.002384	0.997622	1.041539	56.2431
19	1.002687	0.997320	1.041223	56.2261
20	1.003005	0.997003	1.040893	56.2083
21	1.003338	0.996673	1.040549	56.1897
22	1.003685	0.996329	1.040190	56.1703
23	1.004045	0.995971	1.039816	56.1501
24	1.004418	0.995601	1.039429	56.1292
25	1.004804	0.995219	1.039031	56.1077
26	1.005202	0.994825	1.038620	56.0855
27	1.005612	0.994420	1.038197	56.0627
28	1.006032	0.994004	1.037763	56.0392
29	1.006462	0.993579	1.037319	56.0152
30	1.006902	0.993145	1.036865	55.9907
31	1.007353	0.992701	1.036402	55.9657
32	1.007813	0.992247	1.035928	55.9401

Nachstehende Tabelle enthält das Volum einiger Flüssigkeiten für die nebenstehenden Temperaturen nach Muncke's Versuchen:

Temp. C.	Alkohol.	Schwefeläther.	Ammoniak.	Salzsäure.	Salpetersäure.	Schwefelsäure.
— 20	0.982	—	—	0.988	0.978	0.991
— 10	0.900	0.985	0.997	0.994	0.990	0.995
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
+ 10	1.010	1.015	1.003	1.006	1.010	1.006
20	1.021	0.030	1.007	1.011	1.021	1.011
30	1.032	0.046	1.012	1.017	1.032	1.017
40	1.043	1.064	1.017	1.022	1.042	1.023
50	1.054	—	—	—	1.054	1.029
60	1.066	—	—	—	1.065	1.035

Eine wässerige Lösung von salzsaurem Natrum mit dem specifischen Gewichte 1.010 hat das Maximum der Dichte bei 1°.5 R. Salzwasser von 1.027 specifischem Gewichte hat nach Erman (Pogg. Ann. 12. 463) kein solches Maximum; nach Despretz haben aber alle weingeistigen, salzigen, sauren und alkalischen Lösungen im Wasser ein solches. Meerwasser von 1.0275 spec. Gewichte fand er bei — 3°.67 C. am dichtesten; Kochsalzsole von 0 00123 Dichte bei 1°.19 C., von 0.0246 Dichte bei — 1°.69, von 0 037 Dichte bei — 4°.75, und von 0.0741 Dichte bei — 16° C. Chlorkalcium von 0 0375 Dichte zeigte sich bei — 2°.43, solches von 0.0741 Dichte bei — 10°.4 C. am dichtesten. Uebrigens sinkt die Temperatur des Maximums der Dichte mit zunehmender Concentration der Lösung schneller als der Frierpunkt derselben. Aus diesem Verhalten des Wassers erklärt es sich, warum tiefe Wässer so selten gefrieren, warum das Gefrieren erst eintritt, wenn die Temperatur der Luft schon längere Zeit hindurch unter 0° C. stand. Ob einer Flüssigkeit ein Maximum der Dichte zukomme oder nicht, erfährt man am leichtesten, wenn man sie erwärmt, hierauf abkühlen läßt, und die

Abkühlungsgeschwindigkeit beobachtet. Diese ist immer in der Nähe des Maximums der Dichte ein Minimum. — Vergleicht man die Ausdehnung eines Körpers in seinem festen Zustande mit der in seinem tropfbaren, so wie es Erman für mehrere Körper gethan hat; so findet man, daß sie für dieselbe Temperaturänderung im flüssigen Zustande größer ist, als im festen; doch scheint es zwischen den Ausdehnungen in beiden Zuständen einen Zusammenhang zu geben. So z. B. dehnt sich das Rosse'sche Metallgemische nach Erman von 0°—30° R., wo es fest ist, und von 80° an, wo es flüssig ist, nach demselben Gesetze aus. Auch der Phosphor befolgt bei seiner Ausdehnung im festen und flüssigen Zustande dasselbe Gesetz, und nur während des Schmelzens erleidet er eine plötzliche Ausdehnung. (Pogg. Ann. 9. 557. 41. 58.) — Die Ausdehnung der Gase und Dünste hängt mit ihrer Expansivkraft so innig zusammen, daß alles, was über diese gesagt wurde, auch von jener gilt, und daher nicht besonders dargestellt zu werden braucht.

234. Die abstoßende Kraft der Wärme wirket nicht bloß der Anziehung homogener Körpertheile entgegen, sondern auch jener, die unter heterogenen Massen Statt findet und die Adhäsion begründet. Daher kommt es, daß Wasser, welches bei der gewöhnlichen Temperatur ein Metall, z. B. einen Silberlöffel, leicht benetzt, in einem solchen bedeutend erhitzten, zu einem Tropfen zusammenlauft und gar keine Adhäsion zum Metalle zeigt. Vielleicht hat Perkin's Erfahrung, nach welcher Wasser aus einem durchlöcherten, aber stark erhitzten eisernen Behälter nicht auslauft, etwa so wie Quecksilber in einem Haarsiebe, ohne auszulaufen, herumgetragen werden kann, einen gleichen Grund. (Buff in Pogg. Ann. 25. 591.)

C. Aenderung des Aggregationszustandes durch die Wärme.

235. In einem festen Körper hat die anziehende Kraft der Theile über die abstoßende der Wärme das Uebergewicht. Sind aber diese Theile einmal durch die Wärme so weit von einander entfernt worden, daß dieses nicht mehr weiter geschehen kann, ohne ihre gegenseitige Anziehung in eine Abstoßung zu verwandeln; so sind sie an ihrem Schmelzpunkte, und die geringste Steigerung ihrer Temperatur erzeugt ein Uebergewicht der abstoßenden Kraft über die anziehende und den Uebergang des festen Zustandes in den tropfbar flüssigen, d. h. ein Schmelzen. Durch Dehnen eines Körpers mittelst einer von außen angebrachten Kraft kann man kein Schmelzen bewirken, weil dadurch nicht eine Entfernung aller Theile von einander erzeugt werden kann. In guten Wärmeleitern geht das Schmelzen, wenn es einmal an einer Stelle begonnen hat, rasch vorwärts, und erstreckt sich durch die ganze Masse, wenn solche Körper überhaupt der gehörigen Temperatur ausgesetzt sind; bei schlechten Leitern hingegen dauert es eine geraume Zeit, bis die ganze Masse geschmolzen ist. Einige Körper brauchen dazu nur eine mäßige Temperatur, wie z. B. Wachs, andere eine ungemein hohe, wie z. B. Gold, Eisen, Platin, Iridium. Die Kohle scheint unter allen die höchste Temperatur zum Schmelzen zu erfordern. Manche

Körper, wie z. B. alle organischen und auch viele unorganische, erleiden eher eine chemische Zersetzung, als sie die zum Schmelzen nöthige Temperatur erlangt haben; bei einigen kann man der Zersetzung dadurch vorbeugen, daß man sie unter einem sehr hohen Drucke erhitzt. So ist es Hall gelungen, selbst Marmor zu schmelzen.

236. Während ein Körper schmilzt, nimmt er keine höhere Temperatur an, und eine Vermehrung des Wärmezuflusses kann nur eine Beschleunigung des Schmelzens, keineswegs aber eine Temperaturerhöhung hervorbringen. So behält Eis in dem wärmsten Zimmer die Temperatur von 0° C. Die zufließende Wärme übernimmt die Function der Formänderung des Körpers, und hört auf zu erwärmen. Man nennt sie die gebundene Wärme, und sagt: beim Schmelzen der Körper wird Wärme gebunden. Diese gebundene Wärme ist es, welche die Größe der zwischen den einzelnen Körpertheilchen herrschenden abstoßenden Kraft so weit steigert, daß solche Theile, die ohne den Zutritt der Wärme auf einander anziehend wirkten, nun bei derselben Entfernung eine abstoßende Wirkung auf einander ausüben. (Vergl. I. 146.)

Um die Wärmemenge (Flüssigkeitswärme) zu finden, welche beim Schmelzen der Körper gebunden wird, bedient man sich am besten der Mischungsmethode. Aus dem früher Gesagten ist bekannt, daß die specifische Wärme des Wassers $\frac{1}{75}$ beträgt. Dieses Resultat gibt auch die Flüssigkeitswärme des Wassers an. Man kann es zu diesem Behufe so aussprechen: Eine Eismasse bindet beim Schmelzen so viel Wärme, daß man damit eine gleiche Wassermasse von 0° C. bis 75° C. erwärmen könnte. Versuchen zu Folge, beträgt die Flüssigkeitswärme beim Wachs 97°.5, beim Spermacet 80°, beim Zinn 277°.5, beim Blei 5°.8 C. (*Ann. de Chim.* 48. 363.)

237. Wenn einem tropfbaren Körper bis zu einem bestimmten Grade Wärme entrissen wird, so nimmt er wieder den festen Zustand an. Manche Körper gehen unmittelbar vom tropfbaren in den festen über, manche gestehen zuerst, und werden hierauf erst fest. Dabei krystallisiren fast alle, wenn die dazu erforderlichen Bedingungen vorhanden sind, und nehmen daher fast immer ein größeres Volum ein (Bellani in Zeitsch. 3. 481. Marx in Schweigg. J. 58. 454), indem die Theile nun nicht mehr in jeder Lage neben einander im Gleichgewichte stehen, sondern sich an bestimmten Punkten stärker anziehen, als an anderen. Die Temperatur, bei der sie fest werden, stimmt in der Regel mit derjenigen überein, bei welcher sie schmelzen, jedoch kann man einen flüssigen Körper in einem enghalsigen Gefäße bei hinreichender Ruhe weit über den gewöhnlichen Gefrierpunkt erkälten, ohne daß er fest wird. So läßt sich Wasser bei — 10° und selbst bis — 20° C. tropfbar erhalten, aber die geringste Erschütterung bringt es dann zum Erstarren.

238. Die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wurde, wird beim Gefrieren wieder frei. Darum behält Wasser, das langsam friert, während des ganzen Prozesses stets die Temperatur von 0° C.; ja wenn es noch bei einigen Graden unter dem Eispunkte flüssig erhal-

ten worden ist, so steigt seine Temperatur im Augenblicke des Gefrierens schnell auf 0° C. Noch auffallender zeigt dieses eine gesättigte wässerige Glaubersalzlösung. Wird diese bei der Siedhitze bereitet, dann luftdicht eingeschlossen und an einen ruhigen Ort gebracht, so erhält sie sich im tropfbaren Zustande. So wie man sie aber erschüttert oder mit einem festen Körper berührt, wird die Masse augenblicklich fest, und es tritt eine sehr merkliche Erwärmung ein. Etwas Aehnliches zeigt sich beim Festwerden des salzsauren Kalkes. (Scholz Anfangsgründe der Physik. 5. Aufl. S. 466.) Aus dem beim Schmelzen und Festwerden der Körper Statt habenden Binden und Freiwerden der Wärme erklären sich viele merkwürdige Phänomene: z. B. die fortwährende Kälte, welche man empfindet, wenn man Eis oder Schnee in die Hand nimmt; warum eine bleierne Kugel, in Papier gewickelt, über einer Kerzenflamme schmilzt, ohne daß das Papier angezündet wird 2c.

239. Wenn eine tropfbare Flüssigkeit bis zu einem gewissen Grade erwärmt wird, so tritt jenes Phänomen ein, welches man das Sieden nennt, und wobei die Flüssigkeit die Dunstform annimmt. Wird, wie es gewöhnlich geschieht, die Erwärmung von unten angebracht; so macht sich zuerst die Luft von der Flüssigkeit los, setzt sich an die Wände in Gestalt kleiner Bläschen an, und entfernt sich endlich aus der Flüssigkeit. Hierauf sieht man Dunstbläschen vom Boden aufsteigen, doch verschwinden sie wieder in den oberen, noch nicht hinreichend erhitzten Schichten; sie verursachen dadurch jenes Geräusch, das dem Sieden vorhergeht, und erwärmen zugleich die obere Flüssigkeit. Ist endlich die ganze Masse bis zum gehörigen Grade erwärmt, so steigen die Dunstbläschen bis an die Oberfläche und verursachen jenes Wallen und Blasenwerfen, welches das Sieden charakterisirt. Flüssigkeiten, die sich in der Hitze mit einer Haut überziehen, wie z. B. Milch, schwellen beim Sieden an, weil die Dünste diese Haut nicht gleich zu durchbrechen vermögen. Eine Flüssigkeit, die in ihrem Gefäße einen kugelförmigen Tropfen bildet, und es daher nur an wenigen Punkten berührt, kann, so lange sie die Kugelgestalt nicht verliert, nicht die zum Sieden nöthige Hitze vom Gefäße bekommen, um so mehr, als sie wegen ihrer großen Oberfläche viel Wärme verliert. Daher kommt es, daß Wasser in einem stark erhitzten Silberlöffel erst zu sieden anfängt, wenn die Temperatur des Löffels bis auf einen gewissen Grad herabgesunken, und seine Adhäsion zum Metalle wieder hergestellt ist. (Leidenfrost'scher Versuch.)

240. Die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit siedet, hängt von ihrer Natur und von dem auf ihr lastenden Drucke ab. So z. B. braucht Oehl eine höhere Temperatur zum Sieden, als Wasser, dieses eine höhere als Weingeist, dieser eine höhere als Schwefeläther. Die da sich bildende ausdehnsame Flüssigkeit wollen wir Dampf nennen, zum Unterschiede von der unter dem Siedpunkte entstehenden, die Dunst heißen mag. Die beim Sieden entstehenden Dämpfe müssen eine Spannkraft haben, welche dem auf der Flüssigkeit lastenden

Drucke gleich ist, und darum fordert eine Flüssigkeit zum Sieden eine desto höhere Temperatur, unter einem je größeren Drucke sie steht. Darum siedet z. B. Wasser in verdünnter Luft unter dem Recipienten der Luftpumpe oder auf hohen Bergen bei einer geringeren Temperatur, als in Luft von gewöhnlichem Drucke; darum kann man Schwefeläther schon bei der gewöhnlichen Temperatur in stark verdünnter Luft zum Sieden bringen, und aus diesem Grunde kocht das Wasser im Pulshammer (einer luftleeren, Wasser enthaltenden Glasröhre) schon, wenn man es mit der warmen Hand berührt. Wenn sich die aus einer siedenden Flüssigkeit aufsteigenden Dämpfe nicht entfernen können, so addirt sich ihre Spannkraft zum atmosphärischen Drucke, und bewirkt so einen verstärkten Druck auf die Flüssigkeit. Die nun entstehenden Dämpfe müssen eine diesem Drucke gleiche Spannkraft haben, welche sie nur von einer erhöhten Temperatur erhalten können. Daher kommt es, daß Wasser im Papin'schen Digestor eine zum Schmelzen des Zinnes hinreichende Temperatur annehmen kann, und daß es in einem Gefäße, welches man während des Siedens der Flüssigkeit luftdicht geschlossen hat, gleich zu sieden aufhört, aber selbst von der Wärmequelle entfernt, wieder zu sieden beginnt, wenn man die Dämpfe durch Erkältung verdichtet. Die in den unteren Schichten einer siedenden Flüssigkeit entstehenden Dämpfe haben des größeren, auf ihnen lastenden Druckes wegen, eine größere Spannkraft, als die weiter aufwärts entstandenen, und nehmen beim Aufsteigen eine dem verminderten Drucke entsprechende Dichte, Spannkraft und Temperatur an. An der Oberfläche der Flüssigkeit angelangt, ist ihre Spannkraft dem Drucke der Atmosphäre gleich, und wird demnach durch den jeweiligen Barometerstand gemessen. Die Temperatur des austretenden Dampfes, oder was dasselbe ist, jene der obersten siedenden Schichte ist der genaue Siedpunkt unter dem herrschenden Luftdrucke. Der Siedpunkt einer Flüssigkeit wird durch chemische Verbindung mit einer anderen, die erst bei einer höheren Temperatur siedet, erhöht. So z. B. siedet Wasser in Verbindung mit Schwefelsäure schwerer als reines Wasser, Weingeist mit Wasser gemischt, schwerer als Alkohol; auch bei allen wässerigen Salzauflösungen liegt der Siedpunkt höher, als bei reinem Wasser, aber die beim Sieden entstandenen Dämpfe haben dieselbe Temperatur und Spannkraft, wie die aus dem reinen Wasser entwickelten, vorausgesetzt, daß sie reine Wasserdämpfe sind. (Rudberg in Pogg. Ann. 34. 257, und Prechtl in seiner technol. Encyklopädie, B. 3. 507.) Merkwürdig ist es, daß eine Flüssigkeit durch einen gepulverten oder porösen Körper, z. B. durch ein Stück weiches Holz, zum Sieden kommt, wenn es auch noch nicht die hiezu ohne Beihilfe eines solchen Mittels nöthige Temperatur besitzt. Daß sich mit der Verflüchtigung eines Bestandtheiles beim Sieden auch der Siedpunkt ändern müsse, ist klar, und hierin liegt der Grund, warum gemischte Flüssigkeiten in der Regel einen veränderlichen Siedpunkt haben. Auch solche Flüssigkeiten, die aus zwei chemisch nicht auf einander wirkenden, in Schichten getheilten Flüssigkeiten bestehen, haben einen veränderlichen Sied-

punkt, und dieser liegt zwischen dem Siedpunkte der flüchtigeren Flüssigkeit und jener Temperatur, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe beider Bestandtheile dem Luftdrucke gleich ist. Ist demnach die flüchtigere Flüssigkeit die obere, so siedet sie bei ihrem natürlichen Siedpunkte; ist sie aber die untere, so beginnt sie erst zu sieden, wenn ihre Dämpfe eine Spannkraft haben, welche dem auf ihr lastenden Drucke gleich ist. Treten aber diese Dämpfe in die obere Flüssigkeit ein, so bildet der Raum, den sie einnehmen, für die Dünste dieser oberen Flüssigkeit ein Vacuum; es bilden sich aus dieser Dünste, und der Druck derselben hilft den von unten kommenden den Luftdruck ertragen. Es erfolgt darum eine Ausdehnung der Dämpfe bis zu dem Grade, wo Dampf und Dunst eine dem Luftdrucke gewachsene Spannkraft haben, und bei dieser Temperatur siedet die ganze Flüssigkeit.

Auf dem Montblanc siedet Wasser schon bei 86½° C., auf dem Pic von Teneriffa bei 88°.7 C., in Quito bei 90°.1, in Mexico bei 92°.3; im Hospiz auf dem St. Bernhard hat siedendes Wasser nur die Hitze von 92¼°, und man kann darin Rindfleisch nicht weich kochen. Da die Siedhitze des Wassers mit dem Luftdrucke, und dieser mit der Höhe eines Ortes über der Meeresfläche innig zusammenhängt, so hat man ein sehr empfindliches Thermometer (das 1/1000 eines Grades anzeigt) auch zum Höhenmessen empfohlen, worüber in der Folge mehr.

Tabelle der Sied- und Schmelzpunkte einiger Körper.

Schmelzpunkte.		Siedpunkte.	
Gußeisen	1380° C.	Quecksilber	350° C.
Gold	1884	Leinöhl	315
Silber	1596	Schwefelsäure	310
Kupfer	1524	Phosphor	290
Messing	1092	Terpentinöhl	273
Zink	371	Kali	140
Blei	312	Bleizuckerlösung	102
Zinn	227	Alkohol	79.7
Phosphor	37	Schwefeläther	37.8
Milch	—1	Salpetrige Säure	28
Quecksilber	—39	Salpeteräther	20
Schwefeläther	—44	Schwefelige Säure	—10

241. Die Dunstbildung beim Sieden erfolgt auf Kosten eines Antheils freier Wärme, welche gebunden wird. Davon überzeugt man sich schon durch das einfache Factum, daß man unter denselben Umständen die Temperatur einer siedenden Flüssigkeit nicht weiter steigern kann. Vermehrt man den Zufluß der Wärme, so wird nur die Dunstbildung verstärkt, aber weder die Temperatur der Flüssigkeit, noch die des Dampfes erhöht. Diese Wärme wird wieder frei, wenn der Dampf in tropfbaren Zustand übergeht.

Man kann die Wärmemenge, welche beim Uebergange einer gewissen Quantität von irgend einer tropfbaren Flüssigkeit in Dampf gebunden, und beim entgegengesetzten Prozesse wieder frei wird (Dunstwärme), durch einen einfachen Versuch bestimmen. Man nehme den Apparat,

Fig. 291, fülle in A die Flüssigkeit ein, welche ausdehnsam werden soll, und lasse die Dämpfe durch die Röhre B in einen schlangenförmigen Ansatz C gelangen, der von einer bestimmten Menge kalten Wassers umgeben ist, damit sie daselbst zersetzt werden, und die gebundene Wärme an das Wasser abgeben. Es bedeute nun T und M die Temperatur und Menge der Dämpfe, C die Wärmecapacität der aus den Dämpfen entstehenden tropfbaren Flüssigkeit, t und m die Temperatur und Menge des Wassers, das die Schlangenröhre umgibt, vor dem Versuche, t′ die Temperatur desselben nach dem Versuche, $x\sigma$ die von einer Dampfmenge = 1 gebundene Wärme, wobei σ wie immer die specifische Wärme des Wassers anzeigt, so daß x die Anzahl Grade, um welche man die Temperatur einer Masse Wasser = 1 damit erwärmen könnte, d. h. die Verdünstungswärme in Thermometergraden ausdrückt. Man hat, nach Weglassung des allen Gliedern gemeinschaftlichen Factors σ, da die Dämpfe sich im Maximum der Spannkraft für die Temperatur T befinden, mithin bei der geringsten Abkühlung in tropfbaren Zustand übergehen, die Gleichung

$$CM(T-t') + Mx = m(t'-t), \text{ und hieraus}$$

$$x = \frac{m(t'-t) - CM(T-t')}{M}.$$

Auf diesem Wege hat man gefunden, daß man mit der Wärmemenge, welche man braucht, um Wasser von 100° C. in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln, eine gleiche Menge Wasser von 0° auf 531° C. bringen könnte. Auf gleiche Weise würde man mit der Wärme, womit siedend heißer Alkohol oder Schwefeläther in Dämpfe verwandelt wird, eine gleiche Menge des ersteren um 331°, des letzteren um 174°.5 C. erwärmen können. (*Desprets in Ann. de Ch.* 24. 323.) — Aus dem Binden der Wärme beim Sieden und dem Freiwerden derselben bei der Zersetzung der Dünste erklären sich viele Phänomene: Warum ein zinnernes Gefäß beim heftigsten Feuer nicht schmilzt, so lange Wasser darin ist, der Nutzen des Wasserbades beim Erhitzen gewisser Körper, die Erhitzung des Kühlwassers beim Destilliren 2c.

242. Es ist bekannt, daß Flüssigkeiten nicht bloß bei der Siedhitze, sondern auch weit unter dieser verdünsten, ja daß sogar manche feste Körper, wie z. B. Eis, Kampfer, Jod, bei einer Temperatur, bei welcher sie nicht einmal tropfbar werden können, Dünste liefern; jedoch entstehen sie nur an der Oberfläche ohne die mindeste Bewegung der verdünstenden Masse. Vor Kurzem war man noch der Meinung, daß Flüssigkeiten bei jeder Temperatur verdünsten; aber Faraday hat gezeigt, daß es für jede Flüssigkeit eine gewisse Temperatur gebe, unter welcher sie keine Dünste mehr liefert. So z. B. ist Quecksilber unter 5° R., Schwefelsäure bei der gewöhnlichen Luftwärme fix. Diese Grenztemperatur ist diejenige, bei welcher die entstehenden Dünste eine Spannkraft haben, die mit ihrer Schwere und mit der Anziehung gleichartiger Theile unter einander im Gleichgewichte steht. So wie die Temperatur unter diese Grenze hinabsinkt, werden die Theile einer Flüssigkeit oder eines festen Körpers stärker nach abwärts oder zu den gleichartigen Theilen derselben Masse hingezogen, als sie durch ihr Bestreben, expansibel zu werden, aufwärts und von dem Reste des Körpers weggetrieben werden können. Wiewohl dem Wasser beigemengte Oehle bei einer bestimmten Temperatur überdestilliren, so wird doch bei

dem gewöhnlichen Wärmegrade die Flüchtigkeit derselben durch Wasser nicht erhöht. (Faraday in Zeitsch. 2. 226. Pogg. Ann. 19. 545.)

243. Im luft- und dunstleeren Raume bildet sich fast augenblicklich von einer Flüssigkeit so viel Dunst, als darin bestehen kann; enthält dieser Raum aber schon Luft oder irgend einen anderen Dunst, so wirken diese als mechanische Hindernisse den neu zu bildenden Dünsten entgegen und verzögern die Verdünstung. Ganz unterdrückt wird sie aber bei einer Temperatur, bei welcher die Flüssigkeit noch nicht fix ist, nur durch schon vorhandene Dünste von der größten Spannkraft. Darum wird die Verdünstung durch Erhöhung der Temperatur, durch Wegschaffen der schon gebildeten Dünste, durch Verdünnen der Luft und durch Vergrößern der Oberfläche der verdünstenden Flüssigkeit gesteigert; darum befördert der Wind im Freien die Verdünstung der Flüssigkeiten so sehr, und darum verdünstet eine gegebene Menge Wasser schneller, wenn man sie auf den Boden spritzt oder von einem Tuche, von Sand rc. aufsaugen läßt, als wenn man sie in einem engen Gefäße der Luft aussetzt; darum verdünstet eine Flüssigkeit aus einem Haarröhrchen, wo sie am Rande stark in die Höhe gezogen wird und eine relativ größere Oberfläche annimmt, reichlicher, als aus einem weiteren Gefäße. (Pogg. Ann. 26. 463.) Auf dem Verdünsten beruht das Trocknen nasser Körper, das Graduiren der Salzsoolen rc. Man begreift leicht, daß von einem Gemische zweier Flüssigkeiten nicht jeder Bestandtheil unter denselben Umständen gleich schnell verdünstet, daß z. B. Weingeist, Branntwein in offenen Gefäßen schwächer werden muß rc., weil die Luft in der Regel wohl frei von Weingeist- aber nicht von Wasserdünsten ist, und daher erstere leichter entstehen als letztere. Bei Dünsten, welche aus einer Salzlösung unter der Siedhitze entstehen, herrscht zwischen ihrer Spannkraft und Temperatur nicht dasselbe Verhältniß wie bei den aus reinem Wasser gebildeten, und dadurch unterscheiden sich demnach wieder Dünste von Dämpfen.

244. Bei der Dunstbildung unter der Siedhitze wird eben so Wärme gebunden, wie beim Sieden, ja es braucht sogar dieselbe Dunstmenge in beiden Fällen gleich viel Wärme zu ihrem Entstehen. Da diese Wärme nicht wie beim Sieden von einer eigenen Wärmequelle zufließt, so muß sie der nächsten Umgebung entrissen werden. Deßhalb entsteht bei dieser Verdünstung stets eine Erkältung, welche desto stärker ist, je schneller sich die Dünste bilden und je mehr Wärme sie zu ihrer Bildung brauchen. Dieses bestätiget die Erfahrung in unzähligen Fällen.

Um z. B. Wasser, dessen Temperatur 100° C. beträgt, in Dunst von derselben Temperatur zu verwandeln, sind 531° C. Wärme nöthig (s. 241 Anm.); soll daher Wasser von 0° C. auf 100° C. gebracht und dann in Dunst verwandelt werden, so muß es 631° C. Wärme aufnehmen. Gerade so viel Wärme ist nöthig um Wasser von 0° C. in Dunst von 0° C. oder von 20° C. u. s. w. umzustalten. Ist also t° C. die Temperatur des Wassers und des aus demselben gebildeten Dunstes, so sind für die Dunstbildung (631° — t°) C. verwendet worden. Von dem Binden der

Wärme bei der Dunstbildung rührt die Kälte her, welche man nach einem Bade empfindet, die Abkühlung der Luft durch einen Regen oder durch Aufspritzen von Wasser, die Gefahr einer zu starken Abkühlung nach dem Schweiße, die empfindliche Wirkung feuchter Winde, die Wirkung der Alkarazzas (poröser Thongefäße) der Spanier, die Möglichkeit in einem sehr stark erhitzten Raume auszuhalten, wie dieses mit Solander, Banks und Blagden in einer Temperatur von mehr als 127° C. der Fall war. Setzt man ein Schälchen Wasser in ein größeres Gefäß mit Schwefeläther, und bringt beide unter den Recipienten der Luftpumpe, so kann man durch fleißiges Verdünnen der Luft das Wasser zum Frieren bringen. Dasselbe kann man auch erreichen, wenn man statt des Aethers Schwefelsäure nimmt, welche die entstandenen Wasserdünste absorbirt. Befeuchtet man die Kugel eines in einem Recipienten befindlichen Thermometers mit Schwefeläther, stellt ein Schälchen mit Schwefelsäure in die Nähe und verdünnt dann die Luft, so kann eine bis zum Gefrieren des Quecksilbers steigende Erkaltung hervorgebracht werden. Auch durch Verdünsten der flüssigen schwefeligen Säure kann man Quecksilber zum Gefrieren bringen. Wollaston's Kryophor gibt einen ferneren Beleg für obige Behauptung ab. Dieser besteht (wie Rumford's Thermoskop) aus zwei Glaskugeln, die durch eine ziemlich lange Glasröhre mit einander verbunden sind. Eine derselben enthält Wasser, übrigens ist der ganze Apparat luftleer. Taucht man die leere Kugel in Schnee oder Eis, so friert das Wasser in der anderen. Daniell's, Körners, Leslie's Hygrometer beruhen auch auf der Wärmebindung beim Verdünsten.

Nach den hier dargestellten Gesetzen läßt sich auch die Formel rechtfertigen, welche im ersten Theile 219 zur Berechnung der Spannkraft der in der Luft enthaltenen Dünste nach den Anzeigen des Thermohygrometers angegeben wurde. Es ist nämlich bei diesem Instrumente immer ein kleiner mit der befeuchteten Thermometerkugel concentrischer Raum mit Wasserdunst gesättigt. Ein Theil dieses Dunstes war schon vorhanden, um dessen Spannkraft handelt es sich eigentlich; der andere ist erst durch Verdünstung des Wassers am Kugelüberzuge entstanden. Letzterer wurde auf Kosten der Wärme gebildet, welche die Luft und der ihr beigemengte Dunst bei dem Uebergange von der herrschenden Lufttemperatur zu jener, welche das stationär gewordene befeuchtete Thermometer anzeigt, abgegeben haben. Nennt man nun die Temperatur des trockenen Thermometers t, die des benetzten t', das Gewicht der Luft in dem Raume, aus welchem dem verdünstenden Wasser Wärme zufließt, p, das Gewicht des darin ursprünglich enthaltenen Dunstes q, und das Gewicht des neu entstandenen Dunstes s; ferner die Wärmecapacität der Luft c, jene des Dunstes γ, beide auf constanten Druck bezogen und durch die Capacität des Wassers gemessen, dessen specifische Wärme σ sey; endlich die Dunstwärme des Wassers für 0° C. in Temperaturgraden ausgedrückt λ, so besteht, da die hergegebene Wärmemenge $p(t-t')c\sigma + q(t-t')\gamma\sigma$ der consumirten $s(\lambda - t')\sigma$ gleich seyn muß, die Gleichung

$$(pc + q\gamma)(t - t') = s(\lambda - t').$$

Es sey b der herrschende Barometerstand, e die zu bestimmende Spannkraft des Dunstes in der Luft, e' das Maximum dieser Spannkraft für die Temperatur t' des benetzten Thermometers; mithin $b - e$ der Druck, unter welchem die Luft, $e' - e$ jener, unter welchem der neu zugewachsene Dunst steht; ferner sey $\alpha : 1$ das Verhältniß der Dichte des Dunstes zu jener der Luft bei gleicher Spannung und gleicher Temperatur, so hat man

$p:q = b - e : \alpha e$, d. h. $q = \frac{\alpha e p}{b - e}$, und eben so $s = \frac{\alpha (e' - e) p}{b - e}$.
Diese Resultate, in obige Gleichung eingeführt, geben nach Weglassung des allen Gliedern gemeinschaftlichen Factors p, und nach Wegschaffung des Nenners $b - e$, wenn man zur Abkürzung d statt $t' - t$ schreibt,

$$[c(b - e) + \alpha\gamma e]\, d \qquad = \alpha (e' - e)(\lambda - t'),$$
oder
$$[\alpha (\lambda - t') + (\alpha\gamma - c)\, d]\, e = \alpha (\lambda - t')\, e' - c b d,$$
woraus
$$e = \frac{\alpha (\lambda - t')\, e' - c b d}{\alpha (\lambda - t') + (\alpha\gamma - c)\, d}$$ folgt.

Die Erfahrung gibt $c = 0.2669$, $\gamma = 0.8470$, $\alpha = 0.62$, $\lambda = 631$ in sofern die Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale bestimmt werden; hiernach kann obige Formel leicht zur numerischen Rechnung vorgerichtet werden. Wegen der bedeutenden Größe von λ kann man, der in der Ausübung erreichbaren Genauigkeit unbeschadet, den zweiten Theil des Nenners nämlich $(\alpha\gamma - c)\, d$ weglassen; man erhält sonach

$e = e' - \frac{c b d}{\alpha (\lambda - t')}$ und wenn man noch t' in Bezug auf λ vernachläßiget,

$e = e' - \frac{c}{\alpha\lambda} b d$. Man findet näherungsweise $\frac{c}{\alpha\lambda} = 0.0007$.

Ist die Thermometerkugel mit einer Eisrinde überzogen, so muß man zu λ noch 75° hinzufügen, und erhält für den Werth des Coefficienten im zweiten Gliede 0.0006 Indessen werden diese Coefficienten von verschiedenen Physikern etwas höher angenommen als sie diese Rechnung gibt, von der sie nur die Form des Ausdruckes entlehnen. In der That kann man, wenn man $e = e' - A b d$ annimmt, den Werth des Coefficienten A indirect durch Vergleichung der Anzeigen des Schwefelätherhygrometers mit jenen des Psychrometers bestimmen. August (über die Fortschritte der Hygrometrie in der neuesten Zeit, Berlin 1830) setzt

$$e = e' - \frac{0.558\, b d}{\lambda - t'},$$

während der numerische Coefficient in dieser Formel nach Obigem $= \frac{c}{\alpha} = 0.43$ seyn würde. Die Formeln S. 154 halten das Mittel zwischen den verschiedenen Angaben.

D. Anwendung des Dampfes.

245. Die Gesetze der Dunstbildung finden beim Destilliren ihre Anwendung; der Dampf hingegen wird zum Heizen und Trocknen und als bewegende Kraft bei Dampfmaschinen angewendet.

246. Beim Destilliren hat man die Absicht, eine Flüssigkeit von einer anderen, minder flüchtigen zu trennen. Man bringt deßhalb zum Behufe der Destillation die gemischte Flüssigkeit in ein eigenes Gefäß, welches Kessel oder auch Blase genannt wird, und erhöht ihre Temperatur, bis der flüchtigere Bestandtheil sich in Dünste verwandelt. Diese werden in einen eigenen Behälter, den Condensator geleitet, der meistens von kaltem Wasser umgeben ist, und denselben eine hinreichend große Oberfläche darbietet, damit sie wieder in

den tropfbaren Zustand übergehen. Man hat zu diesem Behufe vielerlei Apparate; Fig. 292 stellt einen, Fig. 293 einen anderen dieser Apparate vor. Oft findet man es räthlich zur Beschleunigung der Destillation einen luftleeren Raum zu erzeugen.

247. Da der Dampf, besonders der Wasserdampf, so viele gebundene Wärme enthält, so wird er zur Fortleitung der Wärme vorzüglich gebraucht werden können; darum benützt man ihn auch zum Erhitzen von Flüssigkeiten, wohl auch zum Erwärmen der Zimmerluft. Zu ersterem Zwecke wird der in einem eigenen Kessel erzeugte Wasserdampf durch mehrere Röhren unmittelbar in die Flüssigkeit geleitet, welche erwärmt werden soll, oder wenn dieses nicht angeht, so läßt man den Dampf nur die Wände des Gefäßes berühren, welches diese Flüssigkeit enthält. In jedem Falle erreicht man den Vortheil, daß man für mehrere abgesonderte Massen dieser Flüssigkeit nur *einen* Hauptkessel und *eine* Feuerstelle braucht.

Fig. 294 stellt einen solchen Wasserkessel, in welchem die Dämpfe erzeugt werden, sammt dem Füllapparate vor. A ist der Kessel, B ein Wasserbehälter, welcher durch eine Röhre C mit dem Inneren des Kessels communicirt und letzteren mit Wasser versieht. Diese Röhre ist durch einen Kegel geschlossen, welcher an einer Stelle b des einarmigen Hebels a b c befestiget ist. Dieser Hebel hat am freien Ende c eine hohle Metallkugel, welche im Wasser schwimmt, und, indem sie an dessen Oberfläche erhalten wird, die Röhre C schließt, sobald eine hinreichende Wassermenge im Kessel ist, widrigenfalls aber neues Wasser nachfließen läßt. D sind Röhren, durch welche der Dampf an seinen Bestimmungsort geführt wird. — Zum Behufe der *Heizung* wird der Dampf aus einem eigenen Kessel durch Röhren geleitet, welche durch die zu heizenden Zimmer gehen. Das aus der Verdichtung der Dämpfe entstehende Wasser wird wieder in den Kessel zurückgeführt.

248. Die wichtigsten Dienste leistet der Wasserdampf durch seine Expansivkraft, indem er dadurch das bewegende Princip der *Dampfmaschinen* wird. Die wesentlichen Bestandtheile einer Dampfmaschine sind: der *Kessel*, der *Dampfcylinder* mit dem *Kolben* und der *Condensator*. Der Kessel enthält das Wasser, welches in Dampf verwandelt werden soll, und befindet sich deßhalb über einem eigenen Feuerherde; er ist auch mit mehreren Röhren versehen, wovon einige dazu dienen, um den Wasserstand und die Expansivkraft des vorhandenen Dampfes anzuzeigen, andere, um das Wasser zuzuleiten, endlich eine, wodurch der Dampf vom Kessel in den *Dampfcylinder* geht. Dieser enthält den Kolben, welcher luftdicht an die Wände des Cylinders anschließt, und durch die Expansivkraft des Dampfes bewegt wird. Er ist oben und unten luftdicht verschlossen, und selbst die Kolbenstange geht durch eine gut schließende Stopfbüchse. Mit dieser Kolbenstange steht alles in mittelbarer oder unmittelbarer Verbindung, was durch die Dampfmaschine bewegt werden soll. Der Dampf, welcher bereits seine Wirkung gethan hat, kommt vom Cylinder in den Condensator, wo er mittelst kalten Wassers verdichtet wird, oft wird er auch ins Freie gelassen.

249. An einigen Dampfmaschinen wird der Kolben nur nach einer Richtung durch den Dampf getrieben, nach der entgegengesetzten muß er durch das Uebergewicht der Maschinentheile, vorzüglich des Balanciers, bewegt werden. Diese nennt man Maschinen mit einfacher Wirkung. Bei anderen treibt der Dampf den Kolben abwechselnd nach einer und nach der entgegengesetzten Richtung, und diese heißen Maschinen mit doppelter Wirkung. In einigen Maschinen ist die Spannkraft des arbeitenden Dampfes um ein Geringes größer, als der Druck der Atmosphäre, bei anderen übersteigt ihre Expansivkraft diesen Druck 2, 3, ja 10 und mehrmal. Erstere nennt man Maschinen mit niederem Drucke, letztere Maschinen mit hohem Drucke. An einigen Dampfmaschinen kann der Dampf aus dem Kessel so lange in den Cylinder treten, als sich der Kolben hebt oder senkt, bei anderen wird dieser Zutritt gehemmt, wenn der Kolben etwa auf halbem Wege ist, und der Expansion des Dampfes die fernere Bewegung des Kolbens überlassen. Solche Maschinen führen darum den Namen Expansionsmaschinen.

Wenn man eine Vorrichtung, bei welcher Wasserdampf eine Bewegung hervorbringen, eine Dampfmaschine nennen will, so ist Hero von Alexandrien, der 120 Jahre v. Ch. lebte, der Erfinder derselben: denn in der von ihm angegebenen Maschine wird eine hohle mit Wasserdampf gefüllte metallene Kugel durch Rückwirkung des herausströmenden Dampfes in drehende Bewegung gesetzt. Schließt man aber derlei Apparate als nicht hieher gehörig aus, so beginnt die Geschichte der Dampfmaschinen mit einem Patente, welches Savery, ein englischer Capitän, i. J. 1698 auf eine Maschine erhielt, in welcher mittelst Wasserdampf die Luft aus einem Pumpenstiefel vertrieben, und hierauf durch Abkühlen ein leerer Raum darin erzeugt wurde, in welchen nun das Wasser aus einem Brunnen durch den Luftdruck emporstieg. Arago hält Caus für den Erfinder der Dampfmaschine. Diese in jeder Hinsicht sehr unvollkommene Vorrichtung wurde durch Newcomen i. J. 1705 dadurch wesentlich verbessert, daß er über dem Dampfkessel einen hohlen Cylinder mit einem beweglichen Kolben anbrachte, welcher durch den Dampf gehoben wurde, und wenn er den höchsten Punkt erreicht hatte und durch eingespritztes Wasser die Dämpfe verdichtet waren, durch den Druck der Atmosphäre wieder hinabsank. Durch abermaliges Zulassen des Dampfes konnte der Kolben neuerdings zum Steigen und durch Verdichten derselben wieder zum Sinken gebracht, und so eine anhaltende Bewegung unterhalten werden. Anfangs mußte man den Hahn, welcher den Dampf in den Cylinder treten ließ oder ihm den Weg versperrte, mit freier Hand bewegen, aber ein Knabe, Humphry Potter, der diesem Geschäfte keinen Geschmack abgewinnen konnte, verfiel auf den Gedanken, es der Maschine selbst zu übertragen und führte ihn alsogleich aus, indem er den Kopf des Hahnes mittelst Schnüren mit dem bewegten Mechanismus verband. Ungeachtet dieser Verbesserung war die genannte Maschine noch immer mangelhaft; insbesondere verursachte das Einspritzen des Wassers in den Cylinder und die den oberen Theil des Kolbens frei berührende Luft eine sehr große Abkühlung. Diese vermied J. Watt dadurch, daß er den Cylinder luftdicht schloß, die Kolbenstange durch eine Stopfbüchse gehen ließ, und so der Luft den Zutritt zum Kolben verwehrte, noch mehr aber durch Erfindung des

Condensators, der neben dem Cylinder befindlich, den Dampf von ihm aufnahm, und sie durch eigens eingespritztes Wasser verdichtete, ohne den Cylinder mit dem kalten Wasser in Berührung zu bringen. Nun war zwar die Maschine zu Arbeiten geeignet, bei denen nur ein Zug nach einer Richtung nöthig ist, wie z. B. zum Wasserheben, man konnte sie aber nicht zum Betriebe von Maschinen brauchen, die eine ununterbrochene Kraft fordern, weil die Wirkung des Dampfes nur einseitig war. Watt setzte seinen Verbesserungen die Krone auf, indem er doppelt wirkende Maschinen baute, und sie demnach zur Erzeugung jeder Bewegung qualificirte. Später hat er auch das Princip der Expansion bei seinen Maschinen angewendet. Eine Watt'sche Dampfmaschine mit doppelter Wirkung stellt Fig. 295 vor. Von der Röhre A kommt der Dampf durch a oder b mittelst des Hahnes c in den Cylinder B, und bewegt den Kolben C, mit dessen Stange E der Balancier F in Verbindung steht, welcher dem Schwungrade G seine Bewegung mittheilt. Der Dampf, welcher ausgedient hat, gelangt durch die Röhre d in den Condensator H, welcher in einer Cisterne M mit kaltem Wasser steht, und dieses durch den Injectionshahn e eingespritzt erhält. Das im Condensator erwärmte Wasser wird nebst der entwickelten Luft durch die Pumpe I herausgepumpt, und ein Theil davon in den Behälter K gebracht, von wo es durch eine andere Pumpe f in den Dampfkessel gelangt, und zur Speisung desselben dient. Der Cisterne führt die Pumpe L kaltes Wasser zu. Alle diese Pumpen stehen mit dem Balancier in Verbindung, und werden durch ihn in Thätigkeit gesetzt. Bei der abgebildeten Stellung des Hahnes c gelangt der Dampf aus dem Kessel unter den Kolben, und die über dem Kolben befindlichen in den Condensator. Macht dieser Hahn eine Vierteldrehung, so bekommt er die Stellung, welche N zeigt, und dann können die Dämpfe unter den Kolben treten, und die über ihm befindlichen in den Condensator gelangen.

Bei der Watt'schen Dampfmaschine wirkt der Dampf selbst in dem Falle, wo man ihn absperrt, bevor noch der Kolben seine ganze Bewegung vollbracht hat, keineswegs mit aller Kraft, die er durch Expansion auszuüben im Stande ist. Um diese Kraft in ihrer ganzen Größe zu benützen, hat Woolf zwei Dampfcylinder mit einander verbunden, wie sie Fig. 296 vorstellt, deren einer 5—8mal mehr Capacität hat als der andere. Der Dampf kommt vom Dampfkessel zuerst in den kleineren Cylinder, z. B. über den Kolben und drückt ihn hinab. Dabei gelangt der unter dem Kolben befindliche Dampf in den zweiten größeren Cylinder über den Kolben, und treibt diesen durch jene Expansion ebenfalls abwärts. Haben die Kolben ihren untersten Platz erreicht, so wirkt der Dampf in dem ersten Cylinder von Unten, und der oberhalb desselben befindliche wird unter den Kolben des zweiten Cylinders getrieben, um auch diesen zu heben. Auf ähnliche Weise haben Aitkin und Steel drei Cylinder neben einander angebracht. Die Kraft, mit welcher der Dampf im größeren Cylinder bei seiner Ausdehnung wirkt, ist reiner Gewinn. Alle diese Maschinen sind voluminös und schwer, und fordern einen großen Wasservorrath zum Speisen des Kessels und zur Condensirung des Dampfes. Man kann sie daher nicht zu Bewegungen benützen, wo sie selbst ihren Ort ändern müssen, wie z. B. zu Dampfwägen. Trevithick hat zuerst in England und Evans in Amerika Maschinen mit so hohem Drucke gebaut, daß man den Dampf aus dem Dampfcylinder unmittelbar in die Atmosphäre hinauslassen und daher den Condensator ganz entbehren konnte. Die Dampfmaschine spielt nicht bloß in der Industrie eine sehr wichtige Rolle, sondern dient auch als Transportmit-

tel für Schiffe und Wägen. Zum Behufe der Dampfschifffahrt wendet man in Europa allenthalben doppelt wirkende Condensationsmaschinen an, und läßt sie unmittelbar auf Schaufelräder wirken, welche das Schiff fortrudern. Zur Bewegung von Wägen braucht man nur Hochdruckmaschinen (Locomotive), die mittelst Kurbeln auf die am Boden sich stark reibenden Triebräder wirken, und dadurch die Last fortbewegen. Kessel und Heizung sind eigens und sehr sinnreich eingerichtet um schnell und hinreichenden Dampf von hoher Spannkraft erzeugen zu können. Unter den in neuerer Zeit versuchten Verbesserungen der Dampfmaschinen hat keine mehr Aufsehen erregt, als die von Perkins im Jahre 1823 bekannt gemachte, wiewohl über die eigentlichen Vortheile dieser Maschine noch bis zum heutigen Tage kein zuverläßiges Resultat bekannt gemacht wurde. Perkins Dampfmaschine hat keinen Dampfkessel, sondern dafür ein im Feuer stehendes Gefäß von Kanonengut mit drei Zoll dicken Wänden, das er Generator nennt. Das Wasser wird in diesem Gefäße so erhitzt, daß es, wenn eine kleine Portion desselben durch eine Druckpumpe herausgetrieben wird, Dämpfe liefert, die gegen einen Q. Zoll mit der Kraft von 500 Pferden drücken. Diese Dämpfe treten in einen 18 Z. langen, 2 Z. weiten Cylinder, und treiben den Kolben in einer Minute 200mal hin und her mit einer Kraft von 10 Pferden. Endlich muß noch einer Maschine gedacht werden, in welcher man statt der Wasserdämpfe tropfbare Kohlensäure anwendet, die unter gewissen Umständen ausdehnsam wird, und mit ungeheurer Kraft auf einen Kolben wirkt. Es ist kein Zweifel, daß solche Maschinen an Kraft alle sogenannten Dampfmaschinen weit übertreffen würden, wenn nicht besondere Umstände ihre Einrichtung schwierig machten.

250. Um den Effect einer Dampfmaschine zu berechnen, braucht man nur die Expansivkraft des Dampfes im Dampfcylinder und im Condensator und die denselben dargebotene Fläche des Kolbens zu kennen. Jene Expansivkräfte erkennt man aus der Temperatur des Wassers im Kessel und im Condensator, mittelst der S. 149 mitgetheilten Tabelle. Bei den gewöhnlichen Maschinen mit Condensatoren erleidet der Kolben durch den Dampf einen Druck, welcher dem Drucke einer Quecksilbersäule gleich kommt, deren Basis der gedrückten Kolbenfläche, deren Höhe dem Unterschied der Expansivkräfe des Dampfes im Kessel und Condensator gleich kommt. Bei Dampfmaschinen ohne Condensator hat man statt des Gegendruckes des nicht verdichteten Dampfes den der Atmosphäre zu setzen. Jener Druck wird aber keineswegs ganz zur Erzeugung der nützlichen Wirkung der Maschine verwendet, sondern es muß davon jener Theil abgezogen werden, welcher nöthig ist, um der Reibung des Kolbens das Gleichgewicht zu halten, die Hilfspumpen und die Steurung zu bewegen; ein anderer Theil geht wegen der Abkühlung des Cylinders, wegen Beschleunigung des Dampfes, wegen unvollkommener Condensirung desselben 2c. verloren. Der Rest dient dann eigentlich als nützliche bewegende Kraft, und von dieser hängt der Effect der Maschine ab. Diesen Effect schätzt man in der Regel durch das Gewicht reinen Wassers, welches die Maschine in einer Minute einen Fuß hoch hebt, oder, wiewohl minder zweckmäßig und weniger bestimmt, nach der Anzahl der Pferde, deren Arbeit sie verrichtet. Man nimmt da an, daß ein Pferd in 1 Sec.

400 Pfund 1 F. hoch heben kann. Man darf aber dabei nicht vergessen, daß es bei einer Maschine nicht allein auf den Effect, sondern auch auf die Consumtion des Brennmaterials ankommt, durch welche man ihn erzielt, und daß von zwei Maschinen offenbar jene vorzuziehen seyn werde, welche denselben Effect mit dem geringsten Bedarf an Brennmateriale leistet. Der Bedarf desselben steht nicht immer mit den Leistungen einer Maschine im geraden Verhältnisse. Eine Maschine mit der Kraft von hundert Pferden bedarf nicht zehnmal mehr Brennmaterial, als eine von zehn Pferdekräften, und Maschinen mit hohem Drucke bedürfen nicht in demselben Verhältnisse mehr Brennstoff als sie mehr leisten, sind aber einem großen Dampfverluste und mehr der Gefahr des Kesselzerspringens ausgesetzt. Indeß kennt man heut zu Tage ziemlich zuverläßige Mittel, solchen Unglücksfällen vorzubeugen, wie z. B. die Anwendung gut unterhaltener Sicherheitsventile, Vermeidung der Ueberlastung derselben, öfteres Befreien des Kessels vom Pfannensteine, den Gebrauch von Zapfen aus leicht flüssigem Metalle, Vermeidung gußeiserner Kessel, vorzüglich zweckmäßige Einrichtung und öftere Untersuchung der Wasser zuführenden Pumpen. (Zeitsch. 7. 477. Pogg. Ann. 25. 596.) Durch Vervollkommnung der einzelnen Theile der Dampfmaschinen hat man ungemeine Ersparungen an Brennmateriale ohne Beschränkung der Leistungen erzielt.

Im Jahre 1811 hob nach Berichten aus Amerika (Dupin Mechanik B. 3. S. 344) eine Maschine der besten Art nach Watt's Construction mit einem Scheffel Kohlen in 1 Min. 15,760000 Pfd. Wasser, im J. 1815 hatte man sie schon so weit verbessert, daß diese Wirkung auf 20,766000 Pfd. stieg, ja mittelst einer nach Woolf's Princip construirten Hochdruckmaschine erlangte diese Wirkung die Größe von 46,255250 Pfd. In England hebt die beste, nach alter Art construirte Maschine mit 1 Bushel (1.7 Metzen) Kohlen 40 Millionen Pfd. Wasser 1 Fuß hoch. Eine neuere Maschine hebt aber mit demselben Kohlenbedarfe 61,774166. Bei einer von Grose in Cornwallis erbauten Dampfmaschine, die ihrer Güte wegen berühmt ist, kommt diese Wirkung auf 92,327000 Pfd. und bei einer Maschine, die in der Grube Fowey Consols in Cornwallis arbeitet, gar auf 93,168124 Pfd. (*Phil. mag.* 2. 309. 7. 425. *Mech. Mag. N* 643.) Mit den i. J. 1823 in England gangbaren Dampfmaschinen würde man die 186 Mill. Zentner wiegende ägyptische Pyramide, deren Bau 100,000 Menschen durch zwanzig Jahre beschäftigte, mit 36,000 Menschen in achtzehn Stunden aufbauen können. Die 64 Dampfmaschinen, welche man in Cornwallis allein zur Trockenlegung der Bergwerke anwendet, leisten so viel, wie 448000 Pferde. — (Bernoulli Anfangsgründe der Dampfmaschinenlehre. Basel, 1834. Prechtl's Encyklopädie. Art. Dampf. Baumgartner's Mechanik Wien, 1834. S. 305.)

Viertes Kapitel.

Quellen der Wärme und Kälte.

251. Die Quellen der Wärme auf der Erde sind: 1) Die Sonne. 2) Stoß und Reibung. 3) Chemische Wirkung. 4) Electricität. 5) Der Lebensprozeß.

252. Daß die Sonnenstrahlen erwärmen, ist eine Erfahrung, welche wahrscheinlich mit dem Menschengeschlechte ein gleiches Alter hat; daß aber ihre erwärmende Kraft, unter übrigens gleichen Umständen, von den Körpern abhängt, die davon getroffen werden, ist wahrscheinlich eine viel jüngere Kenntniß, von deren Richtigkeit wir durch unzählige Erfahrungen überzeugt werden. Wenn man von zwei Thermometern, die ganz mit einander übereinstimmen, die Kugel des einen schwärzt, und sie dann beide in einen von der Sonne beschienenen Ort bringt; so steht das Quecksilber in dem mit der geschwärzten Kugel bedeutend höher als im anderen. Legt man Tuchlappen von verschiedener Farbe über Schnee, und läßt sie von der Sonne bescheinen, so schmilzt der Schnee immer zuerst unter den dunkleren Lappen. Schwarze Kleider sind bei Sonnenschein wärmer als lichte, schwarzes Holz erhitzt sich im Sonnenlichte stärker als anderes. Geschwärzte Eier kann man in der heißen Zone im Sande sieden. Stellt man mehrere Glasstürze über einander und bringt sie in directes Sonnenlicht, nachdem man in dem inneren Raume des innersten ein Thermometer aufgehängt hat; so findet man daselbst die Wärme viel größer als von Außen. Saussure hat auf diese Weise eine Erwärmung von 87° R. hervorgebracht, während die Temperatur der Atmosphäre nur 20° R. betrug. Bei gleicher Beschaffenheit der vom Lichte beschienenen Körper hängt die Stärke der Erwärmung von der Dichte des auffallenden Lichtes und von der Beschaffenheit der Körper ab, durch die es geht, bevor es den zu erwärmenden Stoff trifft. Nach Forbes verliert das Sonnenlicht beim Durchgange durch eine 6000 F. dicke Schichte der reinsten Luft nahe $^1/_5$tel seiner erwärmenden Kraft. Hieraus wird es begreiflich, wie man mittelst Convexlinsen und Hohlspiegel eine Temperatur hervorbringen kann, der fast kein Körper zu widerstehen vermag, warum solche Instrumente in großen Höhen besser wirken als in tiefer liegenden Gegenden. Nach Flaugergues erwärmen die Sonnenstrahlen gleich stark, sie mögen von der Mitte oder vom Rande der Sonnenscheibe kommen.

Obiges Verhalten schwarzer Körper hat schon früher Pictet und neuestens Leslie zur Bestimmung der Intensität des Lichtes angewendet. Wird nämlich an dem Differenzial-Thermometer von Leslie eine Kugel geschwärzt, während die andere ihre natürliche Beschaffenheit beibehält; so wird jene im Lichte mehr erwärmt als diese, wenn auch beide gleich stark beschienen werden, und zwar ist der Unterschied der Erwärmung, welcher sich aus dem Stande der Flüssigkeit im Thermometer abnehmen läßt, desto größer, je intensiver das Licht auf die Kugeln wirkt, und man setzt den Unterschied zwischen den stationären Temperaturen beider Kugeln der Intensität des Lichtes proportional. Dieses Instrument ist demnach ein Photometer. Mittelst dessen fand Leslie das Sonnenlicht 12000mal stärker als das einer Wachskerze. Aber nach Herschels wohlbegründetem Urtheile beruht dieses Verfahren auf einem falschen Principe, weil die stillstehende Temperatur eben so gut die erkaltende als die erwärmende Einwirkung auf das Thermometer mißt. Die erwärmende Kraft der Sonne kann man nur durch Bestimmung der Wärmemenge, die in einer gegebenen

Zeit einer den directen Strahlen ausgesetzten Fläche von derselben zugeführt wird, messen. Zu diesem Behufe braucht Herschel ein Instrument, das einem Thermometer ähnlich ist, nur hat es einen größeren farblosen Behälter, der mit einer intensiv blauen Flüssigkeit gefüllt ist, damit die Lichtabsorption im Innern vor sich gehe, und eine in willkürliche aber gleiche Theile getheilte Scale. Will man dieses Instrument brauchen, so hängt man es zuerst eine Minute lang frei in den Schatten, und beobachtet die Veränderung seines Standes, hierauf eben so lang in die Sonne, und bemerkt abermals die Veränderung seines Standes; endlich bringt man es wieder in den Schatten, und beobachtet seinen Stand wieder. Man hat nun zwei Veränderungen im Schatten und eine im Sonnenschein. Das Mittel aus den zwei ersten von der im Sonnenscheine abgezogen, gibt die von den Sonnenstrahlen während einer Minute bewirkte Ausdehnung der Flüssigkeit. Herschel nennt dieses Instrument Actinometer. (Pogg. Ann. 32. 661. Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von John Leslie. Leipzig, 1823. S. 123, S. 58 u. s. w.)

253. Leitet man Sonnenlicht durch ein dreiseitiges Prisma von Steinsalz, so erhält man zugleich ein Licht- und Wärmespectrum, und in letzterem ist wegen der vollkommenen Diathermansie des Steinsalzes die Wärme so vertheilt, wie es die Natur der Sache mit sich bringt. Man findet da, daß die Wärme von dem violetten Theile zum rothen hin zunimmt, daß aber das Wärmespectrum um $^1/_3$tel des Lichtspectrums über den rothen Theil hinausreicht. Das Maximum der Wärme herrscht außerhalb des Roth in einer beträchtlichen Entfernung von der äußersten Grenze desselben. Prismen aus minder vollkommen diathermanen Stoffen geben nur, wenn sie die Strahlen nahe an der Kante des brechenden Winkels auffangen, mithin dort, wo die Dicke des Prisma's sehr gering ist, dieselbe Wärmevertheilung wie ein Steinsalzprisma; in einer größeren Entfernung von dieser Kante hat der Grad der Diathermansie Einfluß auf diese Vertheilung, und sie ist verschieden nach Maßgabe der Natur des Prisma, seiner Dicke und seines brechenden Winkels. Da die brechbaren Wärmestrahlen zugleich die leichter absorbirbaren sind, so führen nicht vollkommen diathermane Prismen die wärmste Stelle näher ans Violett.

Ein Prisma von blauem Kobaltglas ändert das Lichtspectrum sehr stark, und erzeugt, indem es gewisse Lichtstrahlen auslöscht, abwechselnd lichte und dunkle Zonen in demselben, liefert aber ein Wärmespectrum mit regelmäßig und stetig abnehmender Wärme zu beiden Seiten des Wärmemaximums. Ein aus Wasser und einem mit Kupferoxyd gefärbten Glase gebildetes Prisma liefert ein Lichtspectrum ohne Wärme, und eines aus schwarzem Glase ein Wärmespectrum ohne Licht. Nach Seebeck fällt die wärmste Stelle des Spectrums außerhalb des Roth, wenn das Prisma aus Flintglas besteht, hingegen in das Roth selbst, wenn das Prisma aus Crownglas oder aus gewöhnlichem weißen Glase gemacht ist, oder gar in Gelb bei einem durch Glasscheiben gebildeten, mit Wasser, Alkohol oder Terpentinöhl gefüllten Gefäße, endlich zwischen Roth und Gelb, wenn dieses hohle Prisma mit starker farbloser Schwefelsäure oder mit einer klaren Lösung von Quecksilbersublimat gefüllt ist. Man kann die am meisten erwärmende Stelle im Farbenbilde leicht entdecken, wenn man eine Sammellinse von sehr großer

Oeffnung in der Mitte mit einer Papierscheibe deckt (so, daß nur ein Ring von ihr übrig bleibt, der ein kreisförmig gebogenes, dreiseitiges Prisma vorstellt), auf diese Linse directes Sonnenlicht fallen läßt, und das hinter ihr entstehende kreisförmige Spectrum auf ein mit Wachs überzogenes Papier fallen läßt. Da wo die Erwärmung am stärksten ist, fängt das Wachs zuerst zu schmelzen an. Den Strahlen der Sonne analog verhalten sich auch die anderer leuchtenden Körper. (Herschel's Untersuchungen über die Natur der Sonnenstrahlen. Celle, 1801. Seebeck über die Wärme im prismatischen Sonnenbilde. In den Abhandlungen der Berliner Akademie. Berlin 1820. S. 393 u. s. w. Melloni in Pogg. Ann. 39. 558.) — Außer der erwärmenden Wirkung der Sonnenstrahlen bemerkte Scheele noch eine andere, welche dem farbigen Lichte zukommt. Er fand nämlich, daß ein Papier, welches mit Chlorsilber, das in Gestalt eines weißen Salzes erscheint, bestrichen ist, im rothen Strahle gar nicht geändert, im violetten hingegen vorzüglich stark geschwärzt wird. Diese Wirkung kommt dem Lichte rein als solchem zu, und fehlt dort ganz, wo das Licht seiner leuchtenden Kraft beraubt wird. (Vergl. S. 379.) Seebeck machte die Erfahrung, daß das Chlorsilber im rothen Lichte in dem Theile des prismatischen Farbenbildes, wo die stärkste Hitze herrscht, rosenroth gefärbt werde, und überzeugte sich, daß Sonnenlicht, welches durch ein farbiges Glas geht, dieselben Wirkungen hervorbringe, wie das gleichfarbige Licht im Farbenbilde. Die Röthung des Chlorsilbers soll da sogar noch schneller erfolgen, als im Farbenbilde. Setzt man ein Gemenge von Chlorgas und Wasserstoffgas directen violetten Sonnenstrahlen aus, so erfolgt ihre Verbindung plötzlich mit einer starken Explosion. Weißes Sonnenlicht wirkt ebenfalls, aber nur wegen seines violetten Antheils (1). Nach Heßler (Zeitsch. n. F. 3. 336) hängt die das Chlorsilber schwärzende (reducirende) Kraft des farbigen Lichtes auch von der Materie des Prisma's ab, welches das Spectrum liefert. Man will überdieß noch andere Erscheinungen aufgefunden haben, welche einen Gegensatz zwischen den chemischen Wirkungen an den beiden Enden des Farbenbildes darthun sollen, allein man kann hierüber noch keineswegs mit voller Sicherheit urtheilen. Melloni unterscheidet dreierlei Sonnenstrahlen, leuchtende, erwärmende und chemischwirkende, und für jede Gattung gibt es eigene Gesetze der Transmission. Dunkelrothes Glas läßt nur sehr wenige chemischwirkende Strahlen durch, grüner Glimmer und dunkelrother Granat fängt sie ganz auf. Weißer Topas und lichtblauer Beryll, so wie Cyanit, Schwerspath, lassen diese Strahlen reichlich durch. Heller Beryll absorbirt sie fast alle.

254. Wenn man auf einen festen Körper einen schnellen Stoß ausübt, so wird er in der Regel erwärmt. Percussionspulver braucht zur Entzündung nur einen kräftigen Schlag, Knallsalze entzünden sich schon beim geringsten Stoße; eine Eisenstange kann durch bloßes Hämmern bis zum Glühen erhitzt werden. Durch den Stoß eines Stahlstückes gegen einen harten Stein werden Theile von ersterem abgeschlagen und zum Glühen gebracht, daher sie als Feuerfunken erscheinen. Bei dem gewöhnlichen Feuerschlagen bedienen wir uns dieses Mittels. Die Luft, auf ein Fünftel ihres Volums schnell zusammengedrückt, erhitzt sich so sehr, daß sie einen Feuerschwamm anzuzünden vermag (wozu eine Temperatur von nahe 288° C. gehört), wie man dieses besonders am sogenannten Luftfeuerzeuge (einem einerseits

geschlossenen, hohlen Cylinder mit einem luftdicht schließenden Kolben) sieht. Aehnliche Wirkungen bringt die Reibung hervor. Eiserne Werkzeuge, wie Bohrer, Sägen, erwärmen sich beim Gebrauche, ein Mühlstein kann sich beim Leergehen bis zur Entzündung des Holzwerkes erhitzen, an ungeschmierten Wagenaxen und an Zapfen schnell bewegter Maschinenräder geschieht dasselbe. Zwei Stücke Holz kann man durch Aneinanderreiben in Flammen setzen. Ein Radschuh wird beim Gebrauche so heiß, daß man ihn nicht ungestraft berühren darf.

Nach Rumford kann man durch Reibung eine unbeschränkte Wärmemenge entwickeln. Als ein messigener Cylinder in einer Höhlung, die 18 Pfd. Wasser enthielt, so schnell herumgedreht wurde, daß er in einer Minute 32 Umdrehungen machte, stieg die Temperatur des Wassers in einer Stunde von 60° F. bis 130°, und in zwei Stunden bis zur Siedhitze. Davy rieb im leeren Raume bei 0° C. zwei Eisstücke an einander, und brachte sie dadurch zum Schmelzen. Merkwürdig ist die von Pictet gemachte Erfahrung, daß manche weiche Substanzen beim Reiben mehr Wärme entwickeln, als harte.

255. Die durch Stoßen erzeugte Wärmeentwicklung hat ihren Grund in der dadurch bewirkten Verdichtung der Körper, mithin in der Verminderung ihrer Capacität. Daß bei dieser Operation eine Verdichtung eintrete, ist theils aus der Natur der Sache ersichtlich, theils durch directe Versuche erweislich. Ein Metall hat immer nach dem Hämmern eine größere Dichte als vor demselben (Tabelle auf Seite 109). Die Wärmemenge, welche durch Compression eines Gases entwickelt wird, kann man nach diesem Principe sogar berechnen. Sie ist nämlich so groß als diejenige, die das Gas braucht, um sein voriges Volum wieder zu erlangen. Ein fester Körper erwärmt sich durch Stoßen nur so lange, als er dadurch verdichtet wird. Hat er einmal eine gewisse Dichte erreicht, so kann er durch die Kraft, wodurch er sie erreichte, nicht weiter verdichtet werden, und sie ist auch nicht weiter im Stande ihn zu erwärmen. Darum wird ein Körper auch durch den ersten Stoß mehr erwärmt als durch einen zweiten ꝛc. Körper, welche durch die uns zu Gebote stehenden Kräfte nicht stark verdichtet werden können, erhitzen sich auch durch Stöße nur unbedeutend; darum wird eine tropfbare Flüssigkeit durch Stöße nicht merklich erwärmt. Den inneren Verlauf der Sache bei der Wärmeerregung durch Reibung kennt man keineswegs so gut, wie den beim Stoße. Mit der Reibung scheint zwar die Wärmeentwicklung gleichen Schritt zu halten, und nach Morosi wächst die Wärme mit der Dauer der Reibung, jedoch in einem geringeren Verhältnisse als diese Dauer; aber man kann nicht annehmen, daß die sich reibenden Körper so lange an Dichte zunehmen, als die Reibung anhält, wiewohl anfangs eine Verdichtung Statt haben mag. Die Wärmeerregung ist zwar desto intensiver, je mehr die sich reibenden Körper zusammengedrückt werden, aber auch bei einem sehr sanften Drucke kann man bei hinlänglicher Geschwindigkeit eine starke Erwärmung zu Stande bringen.

Heißt die Wärmemenge, die ein Gas bei dem um $\frac{1}{274}$ verminderten Volum hat $= 1$, die beim ursprünglichen Volum $= 1 + x$, so ist $1 + x$

zu 1, wie die Capacität C unter constantem Drucke, zur Capacität c unter constantem Volum. Es ist aber für chemisch einfache Gase $\frac{C}{c} = 1.421$, mithin $1 + x : 1 = 1.421 : 1$, und daher die bei der Compression um $^1/_{274}$ des ursprünglichen Volums bei 0° C. entwickelte Wärmemenge $x = 0.421$. Für zusammengesetzte Gase ist diese Wärmemenge eine andere als für einfache, doch scheint sie wieder für alle zusammengesetzte gleich zu seyn, und 0.337 der beim ursprünglichen Volum vorhandenen Wärmemenge zu betragen. Kennt man einmal die durch Compression von $^1/_{274}$ entwickelte Wärmemenge, so läßt sich die für jede andere Compression berechnen, indem sie mit der Compression gleichen Schritt hält. Die aus dieser Wärmeentwicklung hervorgehende Erwärmung steht im verkehrten Verhältnisse mit der specifischen Wärme des Gases. Nach Berthollet erhitzte sich eine Silberplatte durch den ersten Stoß eines Stempels um 9°.6 C, durch den zweiten um 4°.06, durch den dritten um 1°06. Für eine Kupferplatte betrug diese Temperaturerhöhung 1°.56, 2°.60, 0°81.

256. Es ist leicht einzusehen, daß, weil durch Verdichtung der Körper Wärme entsteht, ihre Verdünnung die Quelle von Kälte werden müsse. Legt man ein dünnes Streifchen Kautschouk auf die Lippen, und verdünnt es durch einen schnellen Zug; so empfindet man die dabei Statt habende Erkaltung. Verdichtet man Luft in einem Gefäße sehr stark, läßt sie hierauf bis zur Temperatur der Atmosphäre abkühlen und dann durch eine kleine Oeffnung herausdringen; so erkaltet sie sich dabei so sehr, daß sie Wasser in einer kleinen Glaskugel zum Gefrieren zu bringen vermag. Es wird aber dazu erfordert, daß nicht bloß die herausdringende, sondern auch die im Gefäße zurückbleibende Luft dünner werde. Die stark gespannten, aus einem Dampfkessel ins Freie herausströmenden Dünste fühlen sich kalt an. Läßt man stark verdichtetes Gas in einen langen Cylinder überströmen, so erwärmt sich dieser an dem Ende, wo das Gas einströmt, und erkältet sich am entgegengesetzten.

257. Durch chemische Einwirkung der Stoffe auf einander wird fast immer Wärme oder Kälte erzeugt. Dieses wird wohl begreiflich, wenn man bedenkt, daß mit der chemischen Mischung und Scheidung fast immer Aenderungen im Aggregationszustande der Körper und in ihren Capacitäten vorgehen. Hieher gehörige Beispiele gibt es unzählige. Lebendiger Kalk und Schwefelsäure erhitzen sich mit Wasser. Kalk, Baryt und Strontian können durch Beimischung von Schwefelsäure gar glühend werden, Terpentinöhl wird durch starke Salpetersäure bis zur Entzündung erhitzt, chlorsaures Kali gibt in Berührung mit Schwefelsäure eine bedeutende Hitze. Weingeist erwärmt sich mit Wasser 2c. 2c. Die meisten bei chemischen Wirkungen eintretenden Erwärmungen haben ihren Grund in einer Verdichtung der Körper.

Hierauf beruhen auch die sogenannten kaltmachenden Mischungen. Bei einer Mischung von fällt die Temperatur

Mischung			von	bis
3 Th.	Salmiak, 5 Salpeter, 16 Wasser	von	+ 10°	— 10° R.
3 »	Glaubersalz, 2 Salpetersäure	»	10	— 12
8 »	» 5 Salzsäure	»	10	— 14
1 »	Schnee, 1 Kochsalz	»	0	— 14
3 »	salzsaurem Kalk, 2 Schnee	»	0	— 36
1 »	Schnee, 1 Schwefelsäure	»	— 5	— 41
1 »	» 1 Salpetersäure	»	— 14	— 35
2 »	salzsaurem Kalk, 1 Schnee	»	— 14	— 44.

Die Aenderungen der Temperatur bei chemischen Prozessen und bei der Aenderung des Aggregationszustandes eines Körpers sind gewöhnlich sehr bedeutend, und daher aus ihrer Wirkung leicht wahrzunehmen. Es gibt aber solche Aenderungen, die nur in einem sehr geringen Grade, und zwar dann Statt finden, wenn feste Körper von Flüssigkeiten benetzt, oder wenn flüssige Stoffe eingesogen werden, so daß man das Benetzen und Eingesogenwerden gleichsam als einen geringen Grad der Formänderung eines Körpers ansehen kann. — Die ersten Erfahrungen im Reiche dieser Phänomene machte Pouillet mit Thermometern, wodurch eine Temperaturänderung von 0°.01 C. bemerkt werden konnte, und fand, daß bei dem Benetzen und Einsaugen immer Wärme frei werde. Ist die netzende Flüssigkeit Wasser, so ist für alle unorganische Stoffe die frei werdende Wärme innerhalb der Grenzen von $1/4$° bis $1/2$° enthalten, es finden aber fast dieselben Grenzen Statt, wenn man statt Wasser, Oehle, Alkohol, Essigäther nimmt. Bei der Absorption ist die Wärmeentwicklung größer als beim bloßen Benetzen, wie man es leicht voraussehen kann, wenn man bedenkt, das Absorption eigentlich ein verstärktes Benetzen ist. (Schweigg. J. 36. 193.)

258. Von der Wärmeentwicklung durch Electricität wird in der Electricitätslehre besonders gehandelt, und über die vom Lebensprozeß bedingte kann hier nur wenig gesagt werden. Der Lebensprozeß erzeugt auf eine auf physikalischem Wege unerklärliche Weise fortwährend Wärme. Ein Theil dieser Wärme kommt allerdings auf Rechnung der Luftzersetzung beim Athmen, der Assimilation der Nahrungsmittel und der steten Verwandlung der Stoffe; allein dieses reicht bei weitem nicht hin, das Phänomen der vitalen Wärmeentwicklung ganz zu erklären. Der Mensch hat eine von der Temperatur seines Mittels fast ganz unabhängige Wärme; was vom Wärmeüberflusse nicht in seine Umgebung abfließen kann, wird zur Schweißbildung verwendet, und den zu starken Abfluß bei großer Kälte ersetzt sein Organismus bis zu einer gewissen Grenze durch gesteigerte Thätigkeit. Etwas Aehnliches findet bei vielen Thieren Statt, ja selbst in der Pflanzenwelt scheint mit der Lebensthätigkeit Wärmeentwicklung gleichen Schritt zu halten.

Fünftes Kapitel.

Wärme in Verbindung mit Licht.

259. Man kann jeden Körper durch bloßes Erwärmen zum Leuchten bringen; selbst solche Körper, die bei einer gewissen Temperatur

eine chemische Zersetzung erleiden, entziehen sich diesem Gesetze nicht, wenn man sie in verschlossenen, hinreichend festen Gefäßen behandelt, die das Entweichen der ausdehnsamen Stoffe, welche bei der Zersetzung entstehen, verhindern. Wiewohl es wahrscheinlich ist, daß alle Körper schon bei einer geringen Temperaturerhöhung leuchten, und daß dieses Licht nur zu schwach sey, um durch unsere, an das starke Sonnenlicht gewöhnten Augen wahrgenommen werden zu können, wie vorzüglich die von Dizé angestellten Versuche (Gilb. Ann. 4. 410) zu beweisen scheinen; so gibt es doch nur eine bestimmte Temperatur, bei welcher sie in einem für uns wahrnehmbaren Grade Licht aussenden.

Nach Pouillet entspricht dem anfangenden Rothglühen eine Temperatur von 525°, dem Dunkelroth 700°, dem anfangenden Kirschroth 800°, dem Kirschroth 900°, dem hellen Kirschroth 1000°, dem dunklen Orange 1100°, dem hellen Orange 1200°, dem Weißglühen 1300°, dem hellen Weiß 1400°, dem blendenden Weiß 1500° — 1600° C.

260. Licht- und Wärmeentwicklungen finden vorzüglich bei energisch vor sich gehenden chemischen Prozessen Statt. Wiewohl es Fälle gibt, wo derlei Entwicklungen eintreten, wenn ein Stoff in seine chemischen Bestandtheile zerfällt (wie z. B. beim Chlorstickstoff, der unter Wärme- und Lichterscheinungen in Chlor und Stickstoff zerfällt, beim Wasserstoffsuperoxyd, Jodstickstoff, den Oxyden des Chlor ꝛc.), so treten diese doch ohne Vergleich öfter bei chemischen Verbindungen ein. Ein solcher Verbindungsprozeß von Stoffen, der mit Licht- und Wärmeentwicklung verbunden ist, ist das Verbrennen. Es gibt zwar auch ein Verbrennen, wo nur Wärme ohne Licht erscheint, so wie ein anderes, wo nur Licht ohne Wärme auftritt, von diesen ist aber hier nicht die Rede. Zum Verbrennen gehören demnach wenigstens zwei Körper, wovon einer, nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise, das Verbrennen erleidet, und deßhalb das Brennmateriale, der Brennstoff oder der brennbare Körper heißt, während der andere das Verbrennen von jenem bewirkt, und feuernährender oder Zünd-Körper genannt wird. Derselbe Körper spielt beim Verbrennen nicht immer dieselbe Rolle, und er kann bald als Brennstoff, bald als Zündstoff auftreten. So ist z. B. Schwefel gegen Kupfer Zündstoff, gegen Sauerstoff Brennstoff, Chlor ist gegen Phosphor, Wismuth, Antimon und andere Metalle (Böttger in Pogg. Ann. 43. 660) Zündkörper, aber nicht gegen Stickstoff. Der vorzüglichste Zündkörper ist der Sauerstoff, daher man auch gewöhnlich unter Verbrennen die mit Wärme- und Lichtentwicklung verbundene Vereinigung des Sauerstoffes mit irgend einem Körper versteht, und im gemeinen Leben nur jene Körper brennbar nennt, welche sich gegen den Sauerstoff als Brennstoffe verhalten.

261. Sollen zwei Stoffe den Verbrennungsprozeß hervorbringen, so müssen sie nicht bloß eine große Verwandtschaft zu einander haben, sondern sich auch unter günstigen Umständen befinden. Das Phänomen des Verbrennens findet immer nur, wie jede chemischen Verbindung, bei einem bestimmten Wärmegrade Statt. Bei manchem Kör-

per reicht dazu schon die gewöhnliche Lufttemperatur, oft selbst die Wintertemperatur hin, und diese entzünden sich daher von selbst, sobald sie in die Luft oder in Sauerstoffgas kommen. Man nennt sie Pyrophore, Selbstzünder (z. B. Kalialaun mit Kohlenpulver geglüht, 2½ Gewichtstheile reine des Krystallisationswassers beraubte Weinsteinsäure mit 8 Theilen Bleisuperoxyd gerieben ꝛc. ꝛc.). Die meisten brauchen aber dazu eine höhere Temperatur als in der Atmosphäre vorkommt, und man muß sie daher erhitzen. Die Größe der erforderlichen Erhitzung ist für verschiedene Körper und selbst für dieselben Körper unter verschiedenen Verhältnissen verschieden; in der Regel brauchen ausdehnsame Stoffe eine größere Erhitzung als feste oder tropfbare, compacte Körper eine größere als poröse und fein zertheilte; bei den meisten Körpern wird das Verbrennen durch Vermehrung der Berührungspunkte mit dem Zündstoffe befördert, bei einigen aber tritt das Gegentheil ein. Manche Stoffe lassen sich durch Tränken in Salzauflösungen dahin bringen, daß sie gar nicht brennen. Von dieser Art ist Schafwolle in Salzsoole getränkt. Da diese zugleich ein schlechter Wärmeleiter ist, so eignet sie sich besonders zu feuerabhaltenden Gewändern, darum sie auch von Aldini zu diesem Behufe empfohlen worden ist.

Phosphor brennt schon bei 37½°, Schwefel bei 294°, Wasserstoffgas bei 300° C., öhlbildendes Gas bei einer noch höheren Temperatur. Die poröse Kohle, wie sie beim unterdrückten Verbrennen von Linnen entsteht, entzündet sich schon durch einen Funken, während compacte Holzkohlen und Coaks dazu viel kräftigere Mittel brauchen; auch Kiesel brennt vor dem Erhitzen in der Luft leicht, während es nach dem Erhitzen in atmosphärischer Luft, ja selbst im Sauerstoffgase unentzündlich ist. Die Temperaturerhöhung, welche manchen Körper in der atmosphärischen Luft entzündet, vermag dieses nicht mehr, wenn die Luft bis auf einen gewissen Grad verdünnt ist, weil es da an der hinreichenden Anzahl Berührungspunkte zwischen dem Brennstoffe und dem Sauerstoffe fehlt. Nach Davy läßt sich ein Gemenge aus 2 Rtheilen Wasserstoffgas und 1 Rth. Sauerstoffgas bei achtzehnfacher Verdünnung, ein aus 2 Rtheilen Hydrogengas und 5 Rtheilen atmosphärischer Luft bestehendes, bei einer sechsfachen Verdünnung nicht mehr durch den electrischen Funken anzünden. In der atmosphärischen Luft läßt sich eine Stahlfeder durch einen glühenden Schwamm nicht zum Verbrennen bringen, wohl aber im Sauerstoffgase (Davy in Gilb. Ann. 56. 150); Phosphor in Baumwolle gewickelt oder mit einem gepulverten Körper, z. B. Schwefel, Holzkohle, Platinschwamm, Antimon, Arsenik, Zinnober, Kalk, Salpeter, Flußspath, Borsäure ꝛc. bestreut, entzündet sich hingegen leichter in verdünnter Luft als in der von natürlicher Dichte. Lampenschwarz erzeugt die Entzündung des Phosphors schon in freier Luft. (Blache in Pogg. Ann. 23. 151.) Ein Gemenge von Phosphorwasserstoffgas und atmosphärischer Luft entzündet sich bei der gewöhnlichen Luftwärme, wenn es unter einen geringeren Druck gebracht wird, als der Luftdruck ist.

262. Die zur Einleitung des Verbrennungsprozesses nöthige Erwärmung kann durch ein beliebiges Wärmeerregungsmittel hervorgerufen werden, und es ist für das Verbrennen selbst einerlei, aus welcher Wärmequelle man schöpft. Man zündet oft Schwamm durch con-

centrirtes Sonnenlicht, unsere Kerzen und das Brennholz durch Mittheilung von einem schon brennenden Körper an, bei den sogenannten chemischen Feuerzeugen (wo Schwefelkerzchen mit chlorsaurem Kali überzogen sind und in Schwefelsäure getaucht werden) ist es ein chemischer Prozeß, der zur Entzündung die Wärme liefert, bei anderen Zündmaschinen wirkt ein electrischer Funke, beim Feuerschlagen der Stoß, die Wilden reiben zwei Hölzer auf einander bis sie brennen. Manche poröse Körper verdichten einige Gase so stark, daß die dadurch erregte Wärme zu ihrer Entzündung hinreicht. Dieses ist z. B. mit dem fein zertheilten Platin, mit Gold- oder Silberplättchen, nach Hare auch mit Asbest oder Holzkohle (welche man unter einem luftleeren Recipienten in eine Lösung von Chlorplatin getaucht, dann 24 St. getrocknet und zuletzt geglüht hat) der Fall, die Knallgas, wenn es ganz frei von Kohlenoxyd und öhlbildendem Gas ist, bis zur Entzündung in ihren Poren verdichten können. (Pogg. Ann. 17. 101; 31. 512; 39. 385.) Etwas Aehnliches scheint bei gepulverten Kohlen die Selbstentzündung zu bewirken. (Zeitsch. 9. 228. Vergleiche *Phil. Mag. Aug.* 1833, *p.* 89, oder Heßler's Jahrb. 1. Jahrgang S. 57.) Wird Eisenoxyd durch Wasserstoffgas zu Eisen reducirt, so erscheint letzteres als gepulverte Masse, die sich in Berührung mit atmosphärischer Luft schnell entzündet.

263. Der auf solche Weise einmal angefachte Verbrennungsprozeß dauert unter günstigen Umständen fort, und es entwickelt sich ohne äußere Beihilfe Licht und Wärme, ja letztere ist es eigentlich, wodurch das Verbrennen unterhalten wird. Es gibt aber doch Fälle, wo ein Körper zwar nicht die zu seinem mit Lichtentwicklung verbundenen Verbrennen nöthige Wärme entwickelt, aber einen anderen dadurch glühend erhalten kann. Von der Art ist Alkohol. Wird über dem Dochte eines Alkohollämpchens ein spiralförmig gewundener dünner Platindraht, oder eine mit Platin überzogene Glaskugel angebracht, das Lämpchen angezündet, und, wenn das Platin glüht, wieder ausgelöscht; so kann letzteres durch das fortgesetzte langsame Verbrennen des Alkohols glühend erhalten werden. Ein solches Lämpchen heißt Glühlämpchen. Während dieser Licht- und Wärmeentwicklung erleidet der verbrennende Körper eine gänzliche Aenderung seiner Natur. Oft verbindet er sich bloß mit dem Zündstoffe und es bleibt nach beendigtem Prozesse das Product dieser Verbindung zurück, oder es wird unter einem verflüchtiget. So wird Eisen beim Verbrennen in Eisenoxyd, Kohlenstoff in Kohlensäuregas verwandelt. Viele Körper, wie z. B. alle organischen, erleiden aber dabei eine Zersetzung; ein Theil verbrennt, der andere bleibt als unverbrennbare Masse zurück. Diese bilden die Asche, die Schlacken 2c. Aus der Verflüchtigung der Verbrennungsproducte erklärt sich der eigenthümliche Geruch, den einige Körper, wie z B. Federn, Klauen 2c. beim Verbrennen verbreiten. Uebrigens sind diese Producte selbst bei demselben Körper nach dem beim Verbrennen herrschenden Hitzegrade verschieden.

264. Zur Fortdauer des Verbrennungsprozesses ist nothwendig,

daß der Brennstoff mit Sauerstoff in Berührung stehe, daß dieser fortwährend mit einer gewissen Geschwindigkeit zuströme, und den Brennstoff an hinreichend vielen Punkten berühre, daß die flüchtigen Verbrennungsproducte oder die des Sauerstoffes beraubte Luft entweichen könne, und daß dem brennenden Körper nicht zu viel Wärme durch das Verbrennungsproduct, durch zu schnelles Zuführen von Zündstoff, durch Ausstrahlen oder durch die Umgebung entzogen werde. Die beim Verbrennen entwickelte Wärme erregt schon für sich einen Luftstrom, wodurch atm. Luft zugeführt und die des Sauerstoffes beraubte zum Aufsteigen gezwungen wird, so daß der dadurch entstehende leere Raum durch andere Luft erfüllt werden muß; allein in vielen Fällen genügt dieser Luftzug nicht, um dem Verbrennungsprozesse die nöthige Lebhaftigkeit zu verleihen, und man muß einen künstlichen Luftstrom herbeischaffen. Dieses geschieht durch Blasbälge, Fächer, oft auch schon dadurch, daß man den brennenden Körper mit einer Röhre umgibt, und so die aufsteigende Luft zwingt, eine größere Geschwindigkeit anzunehmen. Doch muß dieser Luftstrom der Größe des brennenden Körpers angemessen seyn, damit nicht etwa die Lufttheile beim brennenden Körper schneller vorbeigeführt werden, als sie die nöthige Wärme erlangt haben. Darum kann man einen brennenden Körper ausblasen; darum verkleinert sich in einer Lampe die Flamme, wenn man sie mit einem zu hohen oder zu engen Zugrohre umgibt, und dadurch die Geschwindigkeit des Luftstromes zu sehr erhöht; darum brennt comprimirtes Gas, das aus dem Gasbehälter herausströmt, nur bei einer bestimmten Ausflußöffnung. Wenn man den Zutritt von Sauerstoffgas hindert, so hört der Verbrennungsprozeß auf. Dieses geschieht oft durch luftdichte Einhüllung des brennenden Körpers, mit Wasser, Asche 2c., durch eine dem Verbrennen nicht günstige Luft, z. B. durch schwefligsaures Gas, ja sogar durch brennbare Körper, die den Abfluß der zur Unterhaltung nicht mehr geeigneten Luft erschweren, wie z. B. Häckerlinge. Hierauf beruht der Nutzen aller gegen Feuer sichernden Anstriche, aller Feuerlöschmittel 2c.

Man braucht nach Clément zum vollkommenen Verbrennen von

1 Pfd. trockenen Holzes	4.58 Pfd. atm. Luft	oder		1.0579	Sauerstoffgas,
1 » Holzkohle . .	11.00 »	—	—	2.541	—
1 » gewöhnliche Kohle	13.94 »	—	—	3.220	—

Beim gewöhnlichen Verbrennen wird nicht aller Sauerstoff der Luft consumirt, sondern er entweicht zum Theil mit dem Stickgase und der kohlensauren Luft, daher braucht man zum vollkommener Verbrennen fast $^2/_3$ mehr Luft, als oben angegeben wurde. — Die Nothwendigkeit einer hinlänglichen Anzahl von Berührungspunkten zwischen Brenn- und Zündstoff erklären es, warum jeder Körper verlischt, wenn er in atmosphärische, bis zu einem gewissen Grade verdünnte Luft kommt. So verlischt Wasserstoffgas in 8fach verdünnter Luft, aber Schwefel brennt noch bei 15facher, Phosphor bei 63facher Verdünnung der Luft, Wasserstoffphosphorid blitzt noch in möglichst verdünnter Luft. Wenn man in einer abgeschlossenen Portion atm. Luft zu gleicher Zeit eine Wachskerze, Wasserstoffgas, Schwefel und Phosphor anzündet; so verlischt zuerst die Kerze, dann das Hydrogengas, hierauf der Schwefel und endlich der Phosphor. Wenn einem brennenden Körper so viel

Wärme entrissen wird, daß der Rest nicht hinreicht, sein Brennen zu unterhalten, so verlischt er. Darum hört eine glühende Kohle auf zu brennen, wenn man sie auf ein großes, kaltes Stück Eisen legt; ja ein Haufe brennender Kohlen verlischt, wenn man die einzelnen Kohlen aus einander breitet; deßhalb brennen Flammen nicht durch ein Drahtsieb von bestimmter Feinheit des Geflechtes. So z. B. brennt eine Weingeistflamme nicht mehr durch ein solches Sieb, wenn 100 Oeffnungen auf den □. Zoll desselben kommen, wohl aber Wasserstoffgas. Darauf beruht Davy's Sicherheitslampe (eine kleine Laterne aus dünnem, siebartig geflochtenen Metalldrahte), mit der man sich in Oerter wagen darf, wo Knallluft enthalten ist, ohne befürchten zu dürfen, daß sich die Entzündung außerhalb des Drahtgeflechtes fortpflanze. (Vergl. Libri in Zeitsch. 3. 204.) Eine Laterne, mit Drahtgeflecht umgeben, kann man mit brennender Kerze mitten in Stroh oder Heu stellen, ohne eine Fortpflanzung des Feuers befürchten zu dürfen. Der zu geringen Lichtstärke, welche eine solche Lampe für sich gibt, kann man durch einen beweglichen Hohlspiegel abhelfen, den man dahin wendet, wo man die Beleuchtung am besten braucht. Kommt man mit einer solchen Lampe in einen Raum, der brennbare Luft enthält, so erscheint die gewöhnliche Flamme mit blauer Spitze von desto größerer Länge, je mehr solches Gas vorhanden ist; die Gegenwart des Kohlensäuregases gibt sich durch häufigeren Rauch und trübes Brennen kund. Auf einem ähnlichen Grunde beruht auch Aldini's Sicherheitspanzer (ein aus Metalldraht geflochtenes Ueberkleid), das man über ein salzgetränktes Wollenkleid anzieht, um gegen Flammenfeuer geschützt zu werden. Brennendes Holz, Papier, ja selbst Terpentinöhl wird durch einen Ueberwurf von Häckerlingen schnell gelöscht, selbst ein in Häckerling gestellter glühender Körper vermag denselben nicht anzuzünden. (Zeitsch. n. F. 2. 279.) Es ist merkwürdig, daß das Sonnenlicht den Verbrennungsprozeß schwächt, wie sich dieses aus Mac-Keever's Versuchen ergab, der Wachs- und Unschlittkerzen im Finstern, im Schatten und in einem vom directen Sonnenlichte beschienenen Orte brennen ließ, und bemerkte, daß davon im ersten Orte am meisten, im zweiten etwas weniger, im dritten endlich am wenigsten verzehrt wurde.

265. Feste und tropfbare Körper, die beim Verbrennen keine flüchtigen Producte liefern, brennen ohne, flüchtige hingegen mit einer Flamme. Diese wird nämlich durch das verbrennende leuchtende Gas und die darin schwebenden, fein zertheilten, festen Körperchen gebildet. Feste oder tropfbare Körper, die beim Verbrennen ausdehnsame Stoffe liefern, können zugleich mit Gluth und mit Flamme brennen. Jene flüchtigen Theile, welche nicht die zum Brennen nöthige Hitze haben, bilden den Rauch. Dieser besteht hauptsächlich aus fein zertheilter Kohle und Wasserdünsten, oft auch (wie z. B. beim Verbrennen des Silbers oder Eisens in Sauerstoffgas) aus fein zertheiltem Oxyde. Kommt er in einen kälteren Raum, so verdichtet er sich und setzt seine minder flüchtigen Theile als Ruß ab. Es ist klar, daß das Erscheinen des Rauches immer ein Zeichen eines unvollkommenen Verbrennens sey. Bei bloß glühenden Körpern geht das Verbrennen nur an der Oberfläche vor sich; jene, die mit einer Flamme brennen, können ihrer ganzen Masse nach in Brand gesetzt werden, wenn der Sauerstoff mit dem Brennstoffe innig gemengt ist, wie beim Knallgase.

266. Die Flamme eines brennenden Körpers hat eine oben zuge-

spitzte Gestalt, weil das zum Leuchten erhitzte Gas leichter ist, als die atm. Luft, und daher in derselben aufsteigt; nur durch einen künstlichen Luftstrom kann man der Spitze des Flammenkegels eine andere Richtung geben (Löthrohrflamme). Ihre Größe richtet sich nach der Menge des auf einmal entwickelten Gases und nach dem Zuflusse von Sauerstoffgas. An einem Gasbehälter kann man die Flamme nach Belieben vergrößern, indem man die Ausflußöffnung erweitert. Eine gewöhnliche Gasflamme brennt nur an der Oberfläche, das inwendige Gas kommt erst zum Leuchten, wenn es die oberste, äußere Flammengrenze erreicht. Davon überzeugt man sich, wenn man eine solche Flamme durch ein Drahtnetz abschneidet und von oben in sie hineinsieht; denn man findet sie in der Mitte dunkel und gleichsam mit Rauch erfüllt. Man kann ein Stückchen Phosphor mitten hineinhalten, ohne daß es brennt; so wie man aber mit einem Löthrohre Luft hineinbläst, beginnt das Gas im Inneren der Flamme zu leuchten, und der Phosphor fängt Feuer. Eine Flamme, durch welche ein Luftzug geht, wie bei der Argand'schen Lampe, bildet einen leuchtenden Ring. Die Flamme ist nur durchscheinend, keineswegs vollkommen durchsichtig; daher zwei Flammen bei weitem nicht so viel Licht nach einem Orte hinsenden, wenn sie hinter einander stehen, als wenn sie sich neben einander befinden.

267. Die Farbe einer Flamme hängt von der Natur des Brenn- und Zündstoffes, von der größeren oder geringeren Lebhaftigkeit des Verbrennens und von der Beimischung fremdartiger Bestandtheile ab. Nach Brewster gibt jeder unvollkommen brennende Körper gelbes Licht. Selten hat eine Flamme an allen Stellen einerlei Farbe, unten ist fast jede blau.

Phosphor, Zink, Arsenik brennen weiß, Selen azurblau, Sodasalze gelb, Kalisalze blaß violett, Kalksalze ziegelroth, Strontiansalze karmesinroth, Lithionsalze roth, Barytsalze blaß apfelgrün, Kupfersalze grün oder grünlichblau, Eisensalze weiß. Zu allen diesen Versuchen passen Chlorsalze am besten. Man tränkt damit einen Docht oder mischt sie zu Weingeist. Schwefel brennt in atm. Luft mit bläulicher, in Sauerstoffgas mit violetter, im oxydirten Stickgase mit gelblich rother Flamme. Weingeist, in welchem Borsäure oder salpetersaures Kupfer aufgelöst wurde, brennt grün, mit Bariumchlorid gelb, mit Strontiumchlorid roth, mit Kampher weiß; wird ein Stückchen Kalk auf den Docht gelegt, brennt er grün und roth. Verbrennt man Weingeist von 0.835 spec. Gew. in einer Lampe ohne Docht, und gestattet der Flamme eine Länge von $\frac{1}{2}$ Z., so erscheint sie völlig blau; bringt man aber die Länge der Flamme auf 1 — $1\frac{1}{2}$ Z., so erscheint sie beinahe weiß. Wird dieser Weingeist stark gewässert und mittelst eines Dochtes angezündet, so gibt er fast lauter gelbes Licht. Eine gewöhnliche Gasflamme leuchtet mit schönem weißen Lichte, wenn sie eine Länge von 1 — 2 Z. hat; reducirt man durch Verkleinerung der Ausflußöffnung diese Länge auf 2 — 3 L., so sendet sie fast lauter blaues Licht aus. Brennt Oehl ohne Docht mit großer Flamme, so gibt es ein blaues Licht mit vielem Weiß, vermindert man den Oehlzufluß, so wird die Flamme blau mit einer gelben Stelle, bei fortgesetzter Verminderung des Oehlzuflusses wird sie endlich ganz blau. Ein so eben ausgelöschtes Talglicht zeigt im Dunkeln am Dochte einige Augenblicke ein schwa-

ches Leuchten; ebenso gibt Wachs oder Talg, auf heißes, aber nicht leuchtendes Eisen gestrichen, ein blaßblaues Licht, welches das schwache Verbrennen begleitet. Merkwürdig ist die Aenderung einer Hydrogengasflamme, die sie erleidet, wenn man Sauerstoffgas durch dieselbe leitet. Die Flamme des unter einem bestimmten Drucke ausströmenden Wasserstoffgases ist mehr oder weniger lang, conisch, und ein schwacher weißer Lichtmantel umgibt den inneren, fast lichtlosen Theil derselben. So wie Sauerstoffgas zutritt, zieht sich die Flamme zurück; in der Nähe der Ausflußöffnung entsteht eine dunkelblaue Partie, die von einer scharf begrenzten, conischen, bläulichweißen Hülle umgeben ist, welche selbst wieder von einem violettbläulichen Saume begrenzt wird.

268. Das Leuchtvermögen eines brennenden Körpers hängt besonders von seiner Dichte und von seiner Natur ab. In der Regel leuchten die viel dichteren, festen und tropfbaren Körper mehr als die mit einer Flamme brennenden minder dichten Gase und die Leuchtkraft der letzteren wird durch einen festen Körper, der bei der größeren Hitze der brennenden Gase sehr stark glüht, ungemein erhöht. Eine Wasserstoffgasflamme leuchtet nur sehr wenig, die vom verdichteten Knallgase hingegen sehr stark, die Flamme des öhlbildenden Gases, bei der fein zertheilte Kohle ausgeschieden wird, viel stärker; doch wird die Lichtstärke beider noch mehr erhöht, wenn man einen Platindraht in die Flamme hält, weil dieser schnell weiß glühend wird. Die Flamme des gewässerten Weingeistes gibt ein sehr schwaches Licht; tränket man aber den baumwollenen Docht einer Weingeistlampe mit salzsaurer, schwefelsaurer oder kohlensaurer Soda, so erhält man eine stark leuchtende Weingeistflamme. Ein Tropfen Oehl auf den Docht gegeben, oder 0.15 Terpentinöhl dem Weingeiste beigemischt, ertheilt der Flamme die Intensität eines Kerzenlichtes. Phosphor brennt in der Luft mit starkem, aber dem Auge noch wohl erträglichen Lichte, im Sauerstoffgase hingegen mit blendendem Glanze. Alle Bedingungen der erhöhten Lichtentwicklung scheinen beim Kalke zusammenzuwirken, den man in eine mit Sauerstoffgas angefachte Weingeistflamme oder in eine Knallgasflamme bringt; darum leuchtet er auch mit einem ungemein intensiven Lichte. (Talbot und Blackadder in Zeitsch. 1. 403. Drummond ebend. 1. 306. Pleischl ebend. 1. 390. Döbereiner in Schweigg. J. 62. 87. Pfaff in Pogg. Ann. 40. 547.)

Eine gewöhnliche Kerzenflamme hat unten einen blauen Rand, der in einen schwach leuchtenden Saum übergeht; gleich über dem Dochte befindet sich ein kegelförmiger dunkler Raum und zwischen diesem und jenem Saume der leuchtendste des Ganzen. Anders verhält es sich bei einer Flamme, die mit einem Löthrohre angeblasen wird. Diese hat gleich im Inneren einen langen, nicht leuchtenden Kegel, welcher sich wie der äußere Saum der gewöhnlichen Kerzenflamme verhält. — Rumford hat über die Lichtstärke brennender Körper viele interessante Versuche angestellt. Nach diesen braucht man, um durch eine bestimmte Zeit eine gleiche Lichtstärke zu erlangen, folgende Mengen des Brennmaterials dem Gewichte nach: Von einer gut geputzten Wachskerze 100, von einer gut geputzten Unschlittkerze 101, von einer ungeputzten Unschlittkerze 229; von Baumöhl in einer Argand'schen Lampe 110, von dem-

selben in einer Lampe mit breitem Dochte 129, von Rübsöhl in einer gewöhnlichen Lampe 125, von Brennöhl in derselben Lampe 120. Bei Kerzen kommt es auf die rechten Dimensionen des Dochtes an; ist dieser zu kurz, so entsteht ein Abfließen der geschmolzenen Masse, und durch zu viel Schmelzen derselben eine der Lichtentwicklung nachtheilige Wärmeconsumtion; ist er zu lang, so erzeugt er Schatten, kühlt zu schnell ab, scheidet unverbrannte Kohle aus, und vermindert so die Lichtstärke. Hat eine Kerze mehrere Dochte, so müssen dieselben eine solche Entfernung von einander haben, daß die einzelnen Flammen nicht vollkommen geschieden erscheinen. Christison und Turner haben mit Rumford's Photometer eine Reihe sehr wichtiger Versuche über das Gaslicht angestellt. Nach diesen Versuchen wird die Lichtstärke eines Gaslichtes durch Verlängerung der Flamme bedeutend gesteigert, und zwar in einem größeren Verhältnisse als die Gasconsumtion. Bei Gas aus Steinkohlen erhält man bei einer gleichen Gasconsumtion von Flammen, deren Länge 2, 3, 4, 5 Zoll beträgt, die Lichtstärken 100, 109, 131, 150, 150 und für Gas aus Oehl für dieselben Flammenlängen die Lichtintensitäten 100, 282, 560, 582, 604, so daß also durch bloße Verlängerung der Flamme ohne größeren Gasaufwand die Lichtstärke auf das 6fache gesteigert werden kann. Auch als man dem Gase mehrere in einem kreisförmigen Ringe liegende Ausflußöffnungen von bestimmter Größe und Anzahl verschaffte, war die Lichtstärke größer, als wenn man eine einzige Oeffnung angebracht hatte, welche in derselben Zeit die nämliche Gasmenge ausströmen ließ. Man konnte so ohne Vermehrung des Gasbedarfes die Lichtstärke $1^1/_2$ mal vergrößern.

269. Von der Lichtstärke eines leuchtenden Körpers ist die entwickelte Wärmemenge ganz verschieden. Diese ist desto größer, je vollkommener und schneller das Verbrennen vor sich geht, je weniger Wärme das Verbrennungsproduct bindet, und je weniger Körper an der Erhitzung Theil nehmen, die nichts zum Verbrennen beitragen. Flammen geben eine größere Hitze als bloß glühende Körper, jedoch sind auch diese nicht an allen Stellen gleich heiß. Ein Platindraht, den man quer in eine Kerzenflamme hält, wird da, wo er ihren äußersten Saum berührt, glühend, in dem hellleuchtenden Theile derselben berußt, und im innern dunkeln Kegel weder glühend, noch überhaupt stark erhitzt. Warme Luft, einem brennenden Körper zugeführt, erzeugt mit demselben Aufwand von Brennmateriale mehr Hitze als kalte, indem sie nicht auf Kosten des brennenden Stoffes erwärmt zu werden braucht, augenblicklich mit ganzer Stärke den Brand nährt und ihn dadurch mehr concentrirt. Deßhalb gehen auch bei Hochöfen, welche mit warmer Luft gespeiset werden, die Gichten sehr langsam nieder. Die größte Hitze erzeugt verdichtetes, aus einer engen Röhre herausströmendes, brennendes Knallgas, oder nach Pleischl, ein Gemenge aus Kohlenwasserstoffgas und Sauerstoffgas, wie dieses in Newmann's Knallgebläse angewendet wird. (Zeitsch. 1; 64. Gilb. Ann. 55. 247; 62. 339. Schweigg. J. 22. 385.)

270. Die beim Verbrennen frei gewordene Wärme kann man durch den Eisapparat (223), so wie durch Rumford's Calorimeter bestimmen. Dieses besteht aus einem kupfernen Gefäße A (Fig. 297), in dem sich eine schlangenförmig gewundene, ebenfalls kupferne Röhre B befindet, welche durch dessen Boden geht, und unterhalb desselben einen

Trichter C bildet. Das Verfahren beim Gebrauche dieses Instrumentes besteht dem Wesen nach in Folgendem: Es wird die zu verbrennende Substanz unter die Mündung der Schlangenröhre gelegt, daselbst angezündet, vor und nach dem Versuche gewogen und die Temperaturerhöhung bemerkt, welche dem Wasser im Calorimeter dadurch zur Theil geworden ist. M. Bull hat sich zu demselben Zwecke eines anderen Apparates bedient, der einem kleinen Zimmer (von 512 K. F. Inhalt) glich, das mit doppelten Wänden versehen war, und in welchem das Verbrennen in einem eigenen Ofen vor sich ging.

Die gewöhnlichen Materialien, die man zum Behufe der Wärmeentwicklung verbrennt, sind Holz, Holzkohlen, Steinkohlen und Torf. Frisches Holz enthält immer viel Wasser, das der Wärmeentwicklung schadet; nach M. Bull belauft sich der Wassergehalt im Mittel auf 42 vom Hundert, selbst Holz, das schon 8—12 Monate in der Luft getrocknet wurde, enthält noch 25 pCt. Nach Bull geben selbst gleich stark ausgetrocknete Hölzer nicht gleich viel Wärme. Nach desselben Versuchen sind die entwickelten Wärmemengen bei gleichem Volum des Holzes folgende: Verkleinerte Rinde 100, Eiche 86, Esche 77, Buche 65, Ulme 58, Birke 48, Kastanie 52, Weißbuche 65, Fichte 54, Pappel ital. 40. Alle Gattungen Holzkohlen entwickeln beim Verbrennen gleich viel Wärme, die compacteren verbrennen langsamer als die mehr porösen. Gewöhnliche Kohlen enthalten fast immer 7 pCt. an unverbrennlichen Stoffen. Kohlen liefern im Durchschnitte dreimal mehr Wärme, als eine gleiche Gewichtsmenge Holz. Steinkohlen liefern nach Bull im Durchschnitte $^2/_3$ der Wärme, welche ein gleiches Gewicht Holzkohlen gibt. Guter Torf liefert nach Blavies nur $^1/_5$ von der Wärme, welche Steinkohlen geben. Nach Despretz geben Hydrogen beim Verbrennen die größte, die Metalle die kleinste Menge Wärme, und zwar $^3/_4$ von der, welche ein gleiches Quantum Kohle liefert. Schwefel liefert bei verschiedener Dichte der Luft gleich viel Wärme, wahrscheinlich gilt dasselbe auch für andere Körper. Nach Dulong entwickeln gleiche Gasvolume bei ihrer Verbindung mit Sauerstoff gleiche Wärmemengen; sie mögen sonst wie immer beschaffen seyn, und es entwickeln sich sogar gleiche Wärmemengen es mögen sich 1 oder 2 Atome des gasförmigen Zündstoffes mit 1 At. Sauerstoff verbinden. Bei festen Substanzen sind aber die entwickelten Wärmemengen sehr ungleich. Nach Versuchen verschiedener Gelehrten werden durch 1 Pfd. von nachstehenden Körpern so viele Pfd. Wasser von 0—100° erwärmt, als die beigesetzten Zahlen ausweisen: Wasserstoffgas 221.25; Kohlenwasserstoffgas 63.75; Kohlenoxydgas 18.57; trockenes Holz 36.66; Holz mit 20 pCt. Wasser 29.45; detto mit 25 pCt. Wasser 26.00; Holzkohlen 70.50; Steinkohlen der besten Qualität 70.50; Coaks von 10 pCt. Aschengehalt 63.45; Torf gewöhnlicher 15.00; Baumöhl 90.44; gereinigtes Rüböhl 93.07; Schwefeläther (0.728 sp G.) 80.30; Alkohol (0.8176 sp. G.) 61.95; Talg 71.86; weißes Wachs 94.79; Steinöhl (0.827 sp. G.) 73.38; Phosphor 75.00; Terpentinöhl 45.00.

271. Woher beim Verbrennen die Wärme und das Licht komme, läßt sich nach dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft noch nicht ausmitteln. Stahl nahm zur Erklärung dieser Phänomene einen eigenen Stoff, das Phlogiston an, von dem er voraussetzte, daß ihn alle brennbaren Körper enthalten, daß er beim Brennen entweiche, und dadurch Licht und Wärme erzeuge. Lavoisier meinte, das Ver-

brennen werde durch einfache Wahlverwandtschaft vermittelt, indem nämlich der brennende Körper den Sauerstoff der atm. Luft aufnimmt, und dadurch die Wärme, wodurch jener als Gas existiren konnte, frei macht. Mit der Wärme entwickelt sich aus dem Sauerstoffe auch das Licht. Allein es läßt sich durch Rechnung nachweisen, daß die frei gewordene Wärme mehr beträgt, als im Oxygengase enthalten seyn kann, und der etwa beim Verbrennen vorgehenden Capacitätsänderung zuzuschreiben ist. Andere lassen das Verbrennen durch doppelte Wahlverwandtschaft vor sich gehen, und nehmen demnach an, der Sauerstoff verbinde sich mit dem brennbaren Körper, und der Wärmestoff des ersteren mit dem Lichtstoffe des letzteren. In der neuesten Zeit hat die sogenannte electro-chemische Theorie viele Anhänger erhalten, von ihr kann aber erst später die Rede seyn. Besteht das Wesen der Wärme in Bewegung, so ist die Frage, woher die beim Verbrennen entwickelte Wärme rührt, nicht schwer zu beantworten.

Sechstes Kapitel.

Theoretische Ansicht der Wärmephänomene.

272. Man erklärt sich fast allgemein die Erscheinungen der Wärme durch Annahme eines Wärmestoffes. Die Schlußweise, durch welche man die Erklärung leistet, ist ungefähr folgende: Angenommen, daß es einen Wärmestoff gebe, so muß er auch in Körpern von der niedrigsten Temperatur noch vorhanden seyn, und in jedem Körper einen gewissen Grad von Expansivkraft besitzen, der von seiner Anhäufung und von der Größe der Anziehung abhängt, die zwischen ihm und dem Körper obwaltet. Je größer diese Anziehung ist, desto mehr wird seine Ausdehnsamkeit geschwächt, desto kleiner ist also bei derselben Wärmemenge die Temperatur des Körpers, und desto größer ist dessen Capacität. Nähert sich einem warmen Körper ein anderer, in welchem der Wärmestoff eine geringere Spannung hat, so wird er von jenem in diesen überströmen, bis er in beiden eine gleiche Ausdehnsamkeit besitzt; deßhalb wird einer abgekühlt, der andere erwärmt. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Uebergang des Wärmestoffes von einem Körper in den anderen geschieht, muß nothwendig von dem Unterschiede der Spannung des Wärmestoffes in beiden abhängen. Der mit einem Körper durch Anziehung verbundene Wärmestoff bewirkt durch Reaction eine Vergrößerung des Volums, welche, bei übrigens gleichen Umständen, mit der Menge der Wärme zunehmen muß, aber ihr nur da proportionirt ist, wo sie ein reines Resultat der Wirkung des Wärmestoffes ist. In festen Körpern wird der Wärmestoff durch seine Expansivkraft der noch überwiegenden Cohärenz entgegenwirken; durch Anhäufung des Wärmestoffes wird aber diese Kraft immer mehr geschwächt, bis sie so weit abgenommen hat, daß die Theile in eine Entfernung von einander kommen, bei welcher die Unterschiede der Anziehung einzelner Stellen verschwinden. Sobald dieses erreicht ist, fängt der

Körper an zu schmelzen. Ist er ganz tropfbar geworden, so braucht es doch noch eine neue Einwirkung des Wärmestoffes, um den expansibeln Zustand zu erzeugen, weil dazu ein gewisses Uebergewicht der abstoßenden Kraft des Wärmestoffes über die Anziehungskraft der kleinsten Theile der Körper erfordert wird; es geht, selbst wenn diese zwei Kräfte mit einander ins Gleichgewicht getreten sind, ein Körper nicht bei dem geringsten Wärmezuflusse in den expansiblen Zustand über, weil äußere Kräfte die Spannkraft des Wärmestoffes einige Zeit überwältigen. Solche Kräfte sind: der Druck der Atmosphäre, oder wenn sich die Flüssigkeit im luftleeren Raume befindet, der Druck der entstandenen Dünste, und im Inneren noch dazu das Gewicht der oberen Schichten. Indeß findet doch dabei der Uebergang in den ausdehnsamen Zustand an der Oberfläche stets Statt, wenn der abstoßenden Kraft kein Hinderniß entgegensteht.

273. Man sieht hieraus, daß die Erklärung der meisten Wärmeerscheinungen aus dieser Hypothese, im Allgemeinen genommen, nichts Schwieriges an sich hat. Allein die Leichtigkeit, womit man mittelst dieser Annahme die Wärmephänomene selbst dem gemeinen Verstande begreiflich machen kann, ist offenbar das Einzige, wodurch sich diese Hypothese empfiehlt. Man darf sich auch darauf nicht viel zu Gute thun; denn man findet bei der Erklärung der Wärmephänomene immer nur jene Gesetze wieder, die man bei der qualitativen Annahme des Wärmestoffes schon vorausgesetzt hat. Abgesehen davon, daß man den Wärmestoff noch nicht isolirt darstellen konnte, daß er nicht die Eigenschaften anderer materiellen Dinge, z. B. Schwere, Undurchdringlichkeit ꝛc. zeigt, so reicht er nicht einmal zur Erklärung aller Wärmephänomene aus; denn man erklärt daraus schwer oder gar nicht: 1) wie sich die Wärme unter allen Temperaturen strahlend fortpflanzen könne und von Körpern ausströme, die eine geringere Temperatur haben als die Umgebung. Man kann sich überhaupt von dem Zustande einer ausdehnsamen Flüssigkeit, deren Fortpflanzung strahlend geschehen soll, wie dieses mit dem Wärmestoffe seyn müßte, keine klare Vorstellung machen, und es scheint, als läge in dieser Annahme selbst ein Widerspruch, indem man Fortpflanzung der Bewegung (in Strahlen) mit dem Fortschreiten der bewegten Masse verwechselt; 2) wie sich die Wärme, die bei der Annahme eines Wärmestoffes durch eine Anziehung von Seite der Körper in ihnen festgehalten wird, durch den leeren Raum fortpflanzen könne, der doch nicht mit einer neuen Kraft die des Körpers aufhebt. Man kann nicht einwenden, daß, was wir leeren Raum nennen, doch mit feinen Stoffen, z. B. mit Aether erfüllt sey, weil die Vertheidiger des Wärmestoffes meistens den Aether läugnen. Geben sie diesen zu, so bedarf es keines anderen Stoffes mehr zur Erklärung der Wärmephänomene; 3) wie ein Körper ununterbrochen mit gleicher Stärke glühen und dabei immerfort Wärme in die Umgebung senden könne, welches besonders nach Rumford's Versuchen beim Reiben und auch bei Metallen geschieht, welche durch Elektricität glühend gemacht werden. Diese Schwierigkeit kann man nicht

etwa durch Annahme einer Verminderung der Capacität erklären, denn bei Rumford's berühmtem Versuche mit den Kanonen hatten die Bohrspäne eine mit der ganzen Masse des Metalls gleiche Capacität, auch nicht dadurch, daß man annimmt, der Wärmestoff werde dem glühenden Körper von anderen wieder gleich zugeführt; denn diese Annahme streitet gegen ein anerkanntes Naturgesetz, vermöge welchem nur der kältere Körper vom wärmeren Wärme gewinnt, und nicht umgekehrt. 4) Wird einmal zur Erklärung der Wärmephänomene ein eigener Stoff angenommen, so kann eine Wärmeerregung nur in einem Freimachen dieses Stoffes oder in der Verminderung der Capacität bestehen; allein die Wärmeerregung beim Reiben läßt sich daraus nicht erklären, und man ist gezwungen anzunehmen, es werde da wirklich Wärme erzeugt, nicht bloß schon vorhandene in Freiheit gesetzt. (Vergleiche 254.) 5) Endlich ist das Verhältniß zwischen Licht und Wärme nicht wohl erklärbar, besonders wenn man sich bei ersterem für das Vibrationssystem ausspricht, das doch von den optischen Erscheinungen am meisten begünstiget wird.

274. Wenn man die Wärmeerscheinungen mit denen des Lichtes und des Schalles vergleicht, so findet man eine sehr große Uebereinstimmung zwischen denselben. Licht und Wärme existiren häufig in demselben Körper gleichzeitig, und begleiten sich gegenseitig. Wärme und Licht erleiden dieselben Veränderungen und befolgen dieselben Gesetze. Beide pflanzen sich im leeren Raume und in der Luft von gleicher Dichte geradlinig, mit ungeheurer Geschwindigkeit fort, beide werden gebrochen, zerstreut, reflectirt, polarisirt, absorbirt rc., und beide im Allgemeinen nach denselben Gesetzen. Zwischen Schall und Wärme gibt es eben so viele Analogien. Beide werden durch Reiben erregt und Körpern mitgetheilt; beide pflanzen sich strahlend fort; beide erleiden Reflexionen, und beide werden beim Uebergange von einem Mittel ins andere geschwächt. Gleichwie Schallstrahlen einen Körper zum Tönen bringen können, eben so vermögen Wärmestrahlen Körper zu erwärmen; während ein Körper mitklingt, pflanzt sich auch der Klang durch ihn fort, und während ein Körper durch einen anderen erwärmt wird, gibt er auch Wärme an die Umgebung ab. Da nun unwidersprechlich bewiesen ist, daß das Wesen des Schalles in Schwingungen bestehe, ja eine strahlende Fortpflanzung nur aus Schwingungen begreiflich wird, indem die Erfahrung keine Flüssigkeit zeigt, deren Theile strahlend (in gerader Linie) fortschreiten; so fordern die Regeln der Analogie anzunehmen, das Wesen der Wärme bestehe, so wie das des Schalles und des Lichtes, in einer vibrirenden Bewegung. Ob aber die Schwingungen des Aethers oder jene der Körpertheile, oder beide zusammen den Grund der Wärmephänomene enthalten, darüber sind selbst die Vertheidiger dieser Ansicht nicht einig. So viel ist aber aus den in 259 aufgezählten Erscheinungen zu schließen, daß Licht und Wärme nicht von denselben Schwingungen herrühren können, und daß, wenn ja beiderlei Schwingungen dem Aether zukommen, er sich bei jeder Art derselben in einem besonderen Zustande befinden müsse. Bei der Be-

wegung der Wärme in Körpern scheinen die kleinsten Körpertheile selbst in Schwingungen zu seyn. Uebrigens ist es einleuchtend, daß dasjenige, was man in der Emissionshypothese Wärmemenge, Wärmevertheilung, Wärmecapacität, Temperatur, Erwärmung und Erkaltung nennt, im Sinne der Vibrationshypothese lebendige Kraft der schwingenden Theile, Vertheilung dieser Kraft in einer Masse, lebendige Kraft der einzelnen Molekel oder Atome, Geschwindigkeit der Bewegung derselben, Zunahme und Abnahme der lebendigen Kraft seyn müsse rc. (*Théorie analytique de la chaleur par M. Fourier. Paris 1822. Théorie math. de la chaleur par S. D. Poisson. Paris 1838. Traité de la chaleur et de ses applications aux arts et aux manufactures. 2 Tom. par E. Peclet. Paris 1828. A Treatise on heat by D. Landner. London 1833.*)

Dritter Abschnitt.

Magnetismus.

Erstes Kapitel.

Allgemeine, magnetische Erscheinungen.

275. Unter den Eisenerzen befinden sich einige, welche von Natur aus die merkwürdige Eigenschaft besitzen, Eisen anzuziehen. Man heißt sie Magnete, und die Kraft, welche sie auf das Eisen ausüben, magnetische Kraft. Diejenigen, welche diese Kraft schon von Natur aus besitzen, nennt man natürliche Magnete, zum Unterschiede von den durch Kunst mit magnetischen Eigenschaften versehenen, die künstliche Magnete genannt werden. Mit voller Sicherheit weiß man nur vom Eisen, Stahl und Nickel, daß sie im Zustande vollkommener Reinheit zu Magneten werden können; doch wird diese Eigenschaft auch dem Kobalt, Chrom und Mangan von Einigen zugeschrieben. Gewiß ist es aber, daß selbst Eisen, Stahl und Nickel nur unter einer gewissen Temperatur magnetisch seyen oder es werden können, über dieser aber nicht (natürlich magnetisches Eisenerz nur unter der Rothglühhitze, Eisen unter der Hellrothgluth, Nickel nahe unter 330° C.), so daß man es für wahrscheinlich halten kann, es gebe für jeden Körper eine gewisse Temperatur, unterhalb welcher er, so gut wie Eisen, magnetisch ist, oberhalb welcher er aber diesen seinen Magnetismus verliert. Mittelst Electricität läßt sich jeder Körper in einen entschieden magnetischen Zustand versetzen. Außer der Kraft, Eisen anzuziehen, kommt den Magneten noch eine andere, nämlich die Elektricität zu erregen, zu; hier soll aber nur von jener Anziehung die Rede seyn. Nicht jeder Magnet wirkt mit gleicher Kraft auf Eisen, einige sind nur im Stande, ganz kleine Eisenmassen an sich zu ziehen und sie zu tragen; andere hingegen tragen Stücke von vielen Pfunden. Man kann weder aus ihrer Größe, noch aus ihrer Gestalt auf die Stärke ihrer Kraft schließen. Oft sind kleinere Stücke eines Magnetes kräftiger als große, oft ist das Umgekehrte der Fall. Starke natürliche Magnete findet man stets nur am Ausgange eines magnetischen Eisenerzlagers, oder, wie die Bergleute sagen, zu Tage.

276. Die magnetische Kraft äußert sich schon in einer gewissen Entfernung vom Magnete, und es können kleine Eisentheile schon in bedeutenden Distanzen angezogen werden. Es ist kein Unterschied in der Stärke dieser Anziehung bemerklich, ob sich zwischen dem Magnete und dem afficirten Eisenstücke Luft oder irgend ein anderer Körper be-

findet, ja selbst durch den Körper des Menschen wirkt diese Kraft, und nur solche Massen, die selbst magnetische Kraft besitzen, hindern ihre Wirksamkeit.

277. Ein Magnet hat nicht an allen Stellen dieselbe Kraft. Davon überzeugt man sich am leichtesten, wenn man ihn mit Eisenfeilspänen in Berührung bringt, und die Anhäufung derselben an verschiedenen Stellen beobachtet. Da sieht man deutlich, daß die magnetische Kraft in einem Querschnitte, der von beiden Enden des Magnetes nahe gleichweit absteht, am kleinsten (oder eigentlich gleich Null) ist, und von da aus gegen die Enden zu schnell wächst. Fig. 298 stellt einen Magnet mit den angehängten Spänen vor. Man kann sich füglich den Magnet aus zwei Hälften acb und adb bestehend denken, die in einer indifferenten Ebene ab an einander grenzen. Man nennt jede solche Hälfte einen Pol des Magnetes.

278. Wenn man einem Magnete die Gestalt eines verhältnißmäßig langen Prisma's gibt, ihn mit einem Hütchen versieht und auf eine verticale Spitze stellt, damit er sich ungehindert in einer horizontalen Ebene bewegen könne; so wird er der Kraft eines anderen Magnetes in dieser Ebene folgen können und geeignet seyn, über das Verhalten der Pole zweier Magnete A und B gegen einander Aufschluß zu geben. Durch dieses Mittel erfährt man, daß jeder Pol des Magnetes A einen Pol des Magnetes B anzieht, den anderen abstößt und umgekehrt. Die Pole, welche sich anziehen, werden freundschaftliche; diejenigen, welche sich abstoßen, feindliche Pole genannt, so daß sich das Verhalten zweier Magnete zu einander auf folgende Weise ausdrücken läßt: Unter den vier Polen zweier Magnete gibt es zwei freundschaftliche und zwei feindliche, und die zwei Pole desselben Magnetes sind stets entgegengesetzter Natur. Vermöge dieses Gesetzes richten sich zwei bewegliche Magnete, wenn sie über einander frei hängen, immer so, daß ihre ungleichnamigen Pole nach Einer Seite zu liegen.

Obiges Gesetz ist zum Behufe vieler magnetischer Spielwerke angewendet worden; es gibt uns aber auch ein sicheres Mittel an die Hand, zu erkennen, ob ein Körper magnetische Kraft besitze oder nicht. Man darf einen solchen nämlich nur einem Magnete, der seine vermuthliche Stärke nicht um gar viel übertrifft, nähern und sehen, ob bei irgend einem Punkte eine Abstoßung Statt findet. Nur in diesem Falle sind beide Körper magnetisch. Auf die Anziehung kann man sich bei dieser Beurtheilung nicht mit Sicherheit verlassen.

279. Ein Magnet, der so auf einer Spitze ruht, wie der in Fig. 299 abgebildete, oder der an einem feinen Faden hängt, richtet sich immer mit einem Pole gegen Norden, mit dem anderen gegen Süden. Deßwegen heißt man jenen den Nordpol, diesen den Südpol des Magnetes, und diese seine Eigenschaft überhaupt magnetische Polarität. Die Verticalebene, in welcher sich die Pole eines frei hängenden Magnets, als Linie betrachtet, befinden, heißt magnetischer Meridian. Vergleicht man diesen mit dem geographischen Meridiane des Beobachtungsortes, so findet man, daß beide sich unter

einen Winkel schneiden, welcher die Abweichung (declinatio) des Magnetes heißt. Hat man einen Magnet in seinem Schwerpunkte so befestigt, daß er sich zugleich um eine horizontale Axe drehen kann, so bemerkt man, daß sich sein Nordpol unter die Horizontalebene hinabsenkt. Der Winkel, welchen er mit dem Horizonte macht, wird die Neigung (inclinatio) des Magnetes genannt. Eine auf der Axe eines im Schwerpunkte aufgehängten Magnetes senkrechte Ebene heißt der magnetische Aequator.

Da nun jeder Pol eines Magnetes einen besondern Namen hat, so läßt sich das oben (278) angeführte Gesetz der Einwirkung zweier Magnete auf einander auch so ausdrücken: Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

280. Schon aus diesen Erscheinungen kann man abnehmen, daß die Erde wie ein Magnet auf einen anderen Magnet wirke; man kann dieses aber noch mehr durch Folgendes bekräftigen: Hält man eine weiche Eisenstange in den magnetischen Meridian, und gibt ihr eine Neigung gegen den Horizont, welche der Inclination des Magnetes gleicht, so lehrt die Erfahrung, daß sie alsogleich magnetische Polarität zeigt, und zwar bekommt das nach Norden gewendete Ende den Nordpol, das entgegengesetzte den Südpol, verliert diese Eigenschaft aber augenblicklich, sobald man sie aus dieser Richtung in irgend eine darauf senkrechte bringt. Eigentlich ist eine Eisenstange nur in letzterer Lage ganz ohne magnetische Polarität, in jeder anderen besitzt sie diese in einem desto größeren Grade, je mehr sich ihre Richtung der zuerst genannten nähert, in dieser ist sie am größten. Es ist leicht einzusehen, daß der Nordpol eines Magnetes, und falls der Erde, wie einem anderen Magnete, Pole zukommen, der gegen Norden gelegene, magnetische Pol der Erde freundschaftliche, mithin ungleichartige Pole sind, und daß man daher jenen Südpol nennen soll, wenn man diesen Nordpol heißt. Indeß ist es in Deutschland Sitte, den nach Norden gewendeten Pol eines Magnetes Nordpol, den nach Süden gekehrten Südpol zu nennen.

281. Diese Phänomene sind von jenen des Lichtes und der Wärme so sehr verschieden, daß man sie nicht aus derselben Grundursache herzuleiten vermag. Man nimmt fast allgemein zu ihrer Erklärung eine ungemein feine, unwägbare (ätherische) Flüssigkeit an, welche aus zwei von einander verschiedenen Theilen oder aus zwei besonderen Flüssigkeiten besteht. So lange beide Theile dieses Fluidums in einem Körper so verbunden sind, daß keiner vorherrscht, befindet sich der Körper im natürlichen Zustande; so wie aber der eine oder der andere Theil vorherrscht, treten die magnetischen Phänomene hervor. Es ist klar, daß, wenn in einem Theile eines Körpers die eine Flüssigkeit vorherrschend vorhanden ist, in dem anderen die zweite vorherrschend seyn muß, und man begreift daraus, warum ein Körper stets aus zwei magnetischen Hälften von entgegengesetzter magnetischer Natur besteht. Die gleichartigen magnetischen Flüssigkeiten erzeugen gleichartige Pole und stoßen sich demnach gegenseitig ab, die ungleichartigen begründen

ungleichartige Pole und ziehen sich gegenseitig an. Das magnetische Fluidum geht nicht von einem Körper in einen anderen über, denn ein Magnet verliert nichts von seiner Kraft, wenn man ihn mit irgend einem Körper berührt; ja nicht einmal in dem Falle, wo der berührende Körper durch den Magnet selbst magnetisch wird, findet ein solcher Uebergang Statt. Man darf sich aber auch nicht vorstellen, daß beim Magnetischwerden des Eisens oder eines anderen Körpers ein magnetisches Fluidum in die eine, das andere in die zweite Hälfte des neuen Magnetes übergehe, und demnach das Fluidum im Inneren des Körpers bedeutende Ortsveränderungen vornehme; denn wenn man ein magnetisirtes Stück Eisen in beliebige Stücke zerschneidet, so ist jedes derselben ein ganzer Magnet mit zwei Polen, welches nicht seyn könnte, wenn nicht an jeder Stelle des Eisens beide magnetische Fluida vorhanden wären. Daher kann das Magnetischwerden eines Körpers nur dadurch vor sich gehen, daß die Trennung der zwei magnetischen Fluida nur in einem ungemein kleinen Stücke jenes Körpers, in einem magnetischen Elemente desselben, erfolgt. Die Größe eines solchen Elementes hängt von der Natur der Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Trennung der zwei magnetischen Flüssigkeiten in einem Elemente erfolgt nicht bei allen Körpern mit gleicher Leichtigkeit, aber je leichter diese Trennung erfolgt, desto leichter geht auch ihre Wiedervereinigung von Statten. Man nennt die Kraft, welche sich der Trennung widersetzt, Coercitivkraft. Uebrigens darf man nicht vergessen, daß alles dieses bloße Hypothese sey, die man nur zur Erleichterung der Uebersicht der magnetischen Phänomene aufstellt.

Nach der hier aufgestellten Ansicht über den inneren Verlauf der magnetischen Phänomene wird zum Magnetischwerden eines Körpers erfordert, daß er das magnetische Princip in sich enthalte, und daß es in seine zwei ungleichartigen Bestandtheile getrennt werden könne. Wenn auch ein Körper durch das gewöhnliche Verfahren nicht magnetisch wird, so darf man ihm darum das magnetische Princip noch nicht absprechen; denn seine Coercitivkraft kann ja so groß seyn, daß unsere gewöhnlichen Mittel nicht im Stande sind, die Trennung des magnetischen Princips in den magnetischen Elementen zu bewerkstelligen.

Zweites Kapitel.

Verfahren, künstliche Magnete zu erzeugen.

282. Viele Körper können durch eine besondere Behandlung in künstliche Magnete verwandelt werden. Die Mittel, wodurch man dieses erreicht, sind: Eine bestimmte Lage gegen die Erde, Annäherung eines Magnetes bis zur Berührung oder auch ohne dieselbe, Streichen mit einem Magnet, Einwirkung eines electrischen Stromes, nach einigen auch eine bestimmte Art der Bestrahlung durch Sonnenlicht. Weiches homogenes Eisen wird durch jedes dieser Mittel schnell und stark magnetisch, doch behält es seine magnetische Kraft nicht viel länger, als die magnetisirende Ein-

wirkung dauert; dasselbe findet in den übrigen Körpern Statt, mit Ausnahme der Körper, die eines selbstständigen, den magnetisirenden Einfluß lange überdauernden Magnetismus fähig sind.

283. Wenn sich eine sehr weiche, homogene, hinreichend lange Eisenstange außerhalb des magnetischen Aequators befindet, so zeigt sie magnetische Polarität, und das gegen Norden gekehrte Ende derselben hat nördlichen Magnetismus. Dieser wird noch stärker, wenn die Stange in den magnetischen Meridian gebracht wird, und erreicht seine größte Stärke, wenn die Stange in dieser Ebene zugleich die Neigung einer Magnetnadel annimmt. Durch mechanische Behandlung, z. B. durch Schlagen, Feilen, Drehen, Winden, schnelles Abkühlen rc. wird die Empfänglichkeit für den Magnetismus in dieser Lage erhöht, und derselbe oft auch dauernd gemacht.

Ein eiserner Draht erlangt schon magnetische Kraft, wenn man ihn mit einer Zange hält, die vom magnetischen Aequator abweicht, und es bekommt sein oberes Ende einen Süd-, das untere einen Nordpol. Allein dieser Magnetismus erlangt eine viel größere Stärke, wenn man den Draht in der genannten Lage schlägt, biegt, dreht, streckt, feilt oder sonst mechanisch verändert. Macht man Eisen rothglühend und löscht es in lothrechter Lage im Wasser ab, so wird es magnetisch, und das obere Ende erhält den Süd-, das untere den Nordpol. Den stärksten Magnetismus erlangt ein Eisenstab, wenn er vertical gestellt wird, und mit seinem unteren Ende auf einer anderen verticalen Eisenstange ruht, während man auf das obere mit einem Hammer schlägt. (Gilb. Ann. 67. 319; 68. 260.) Bei allen diesen Operationen ist es eigentlich der Erdmagnetismus, der magnetisirend wirkt, die mechanische Behandlung des zu magnetisirenden Körpers disponirt denselben nur zur leichteren Trennung seiner magnetischen Kräfte.

284. Es ist klar, daß der Erdmagnetismus durch die Kraft jedes anderen starken Magnetes vertreten werden kann. Nähert man einem künstlichen oder natürlichen Magnete ein Eisenstäbchen, so erhält das dem Nordpole dieses Magnetes nächste Ende einen Südpol, das andere einen Nordpol. Ist einer dieser zwei Körper leicht beweglich und die magnetische Kraft stark genug, so nähern sich beide bis zur Berührung. Der Anziehung des Eisens durch einen Magnet geht immer eine solche Magnetisirung voraus, und man soll daher nicht sagen, der Magnet ziehe das Eisen an, sondern jener mache dieses zu einem Magnete, woraus dann die Anziehung von selbst folgt. Ein an einem Magnete hängendes Eisenstäbchen ist selbst wieder im Stande, ein zweites zu magnetisiren, es anzuziehen und oft selbst zu tragen, dieses ein drittes, viertes rc. rc. bis endlich das vereinte Gewicht von solchen Stäbchen größer wird, als die magnetische Kraft des ersteren, in welchem Falle sie sich von demselben trennen und insgesammt die magnetische Kraft verlieren.

285. Eines der kräftigsten Mittel, künstliche Magnete zu erzeugen, ist das S t r e i c h e n mit einem Magnet, und zwar der e i n f a c h e oder der D o p p e l s t r i c h. Beim e i n f a c h e n Striche setzt man einen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte der zu magnetisiren-

den Stange, führt ihn gegen ein Ende derselben hin, und zieht ihn am Ende seitwärts ab, oder über das Ende hinaus. Dieses Verfahren wiederholt man öfters, ohne aber je die Stange vom Ende gegen die Mitte zu streichen. Hierauf setzt man den anderen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu erzeugenden Magnetes, und streicht mit demselben gegen das andere Ende hin, ohne je einmal umgekehrt zu streichen. Da erhält nun jede Hälfte eine Polarität, welche der des aufgesetzten Poles entgegengesetzt ist. Der einfache Strich ist nicht geeignet einem nur etwas starken Stabe so viel Magnetismus zu ertheilen als dieser aufzunehmen vermag. Doch kann er mit Vortheil in Anwendung kommen, wenn man ein Stahlblech nur an bestimmten Stellen magnetisiren will. Nimmt man einen Magnet, der an einem Ende abgerundet ist, und zeichnet mit demselben auf einem rein gescheuerten Stahlbleche Figuren, so nimmt dieses an den gestrichenen Stellen Magnetismus an, und man kann die Figuren sogar durch aufgestreute Eisenfeile sichtbar machen, und sie bleiben es oft Monate lang. (Haldat in Zeitsch. 7. 367.) Das Wesentliche des Doppelstriches besteht darin, daß man auf die Mitte des zu magnetisirenden Stabes die entgegengesetzten Pole zweier Magnete oder die beiden Pole eines hufeisenförmigen Magnetes senkrecht oder geneigt aufstellt, und sie nach derselben oder nach entgegengesetzten Richtungen mit starker Reibung längs jenes Stabes wiederholt hin- und zurückführt, zuletzt aber in der Mitte abhebt. Oft werden die Enden dieses Stabes mit weichem Eisen, manchmal auch mit starken Magneten bewaffnet. Hier erhält jedes Ende des Stabes den Magnetismus, welcher jenem des ihm zuletzt beim Streichen zugeführten Poles des Streichmagnetes entgegengesetzt ist oder mit jenem des davon zuletzt sich entfernenden Poles übereinstimmt.

Der Doppelstrich ist zuerst im Jahre 1745 von Knight angewendet worden, und zwar so, daß man die zu magnetisirende Stange horizontal auf einen Tisch legte, darauf nach der Länge zwei Streichmagnete setzte, deren entgegengesetzte Pole einander fast in der Mitte des Stabes berührten, und diese Pole von einander entfernte, indem man sie in entgegengesetzter Richtung längs der Unterlage auseinander zog. Kurze, nicht gar dicke Stäbe lassen sich auf solche Weise vollkommen magnetisiren, langen Stäben ist aber dieses Verfahren nicht gewachsen. Duhamel verbesserte es dadurch, daß er die zu magnetisirende Stange zwischen zwei Stäbe aus weichem Eisen anbrachte, und die Streichmagnete unter einem Winkel von 25—30° auf sie stellte, übrigens aber sie wie Knight hin und her führte. Mitchell nahm zum Streichen nicht einzelne Magnetstäbe, sondern aus mehreren solchen bestehende Bündel, stellte zwei solche mit ihren entgegengesetzten Polen in einiger Entfernung von einander senkrecht auf den zu magnetisirenden Stab, und führte sie so gegen das eine und dann gegen das andere Ende jenes Stabes hin. Aepinus brachte an den Enden dieses Stabes die entgegengesetzten Pole zweier starken Magnete an, wendete aber wie Mitchell zum Streichen Magnetbündel, jedoch nicht in senkrechter sondern in geneigter Lage an. In der neuesten Zeit haben sich vorzüglich Hoffer und Mohr mit der Erzeugung starker Magnete durch Streichen abgegeben. Die prac-

tische Ausführung des Doppelstriches nach Hoffer's Methode ist, ungeachtet sie dem Wesen nach stets dieselbe bleibt, doch verschieden, je nachdem man gerade oder hufeisenförmig gebogene Stäbe magnetisiren will, welche letztere Gestalt man einem Magnete oft darum gibt, um mit einem einzigen Eisenstücke, das man Anker oder Trageisen nennt, beide Pole auf einmal beschäftigen zu können, und so diese eine größere Last tragen zu machen. Um nun einen hufeisenförmigen Stab A (Fig. 300) durch den Doppelstrich zu magnetisiren, legt man ihn auf einen Tisch, bringt den Anker B an die beiden Endflächen desselben, und setzt den ebenfalls hufeisenförmigen Streichmagnet C mit jedem Pole auf einen Schenkel des Hufeisens, und zwar so nahe als möglich am Anker und in aufrechter Stellung. In dieser führt man ihn in gleichmäßigem Zuge und mit unverändertem Drucke parallel zu den Schenkeln des Hufeisens, bis über die Wölbung desselben hinaus, und wieder, ohne das Hufeisen zu berühren, zurück. Nach mehreren Strichen dieser Art hat der Stab schon das Maximum der Kraft, der er fähig ist, angenommen, und zwar hat jeder Schenkel die mit dem aufgesetzten Pole des Streichmagnetes gleichnamige Polarität. Man kann auch umgekehrt verfahren, den Streichmagnet mit beiden Polen auf die Schenkel des Hufeisens an der Wölbung aufsetzen (Fig. 301), gegen die Endflächen desselben hinstreichen, und den Streichmagnet über denselben hinausführen, wobei es gerade nicht wesentlich ist, daß der Anker vorgesetzt werde. Da erhält jeder Schenkel des Hufeisens die dem aufgesetzten Pole entgegengesetzte Polarität, und man kann daher mittelst dieser Methode den, mittelst der vorhergehenden erzeugten Magnetismus aufheben oder die Pole umkehren. Hat man zwei gerade Stäbe nach Hoffer's Methode zu magnetisiren, so verfährt man so: Man legt sie in paralleler Lage auf einen Tisch, verbindet ihre Endflächen mit zwei Ankern, und setzt einen Hufeisenmagnet mit seinen Polen in aufrechter Stellung in der Nähe eines Ankers auf die zwei Stäbe (Fig. 302). Hierauf führt man den Streichmagnet in gleichmäßigem Zuge gegen das andere Ende hin und sogar über dasselbe hinaus, führt ihn aber, ohne die Stäbe zu berühren, wieder auf die erste Stelle zurück, und wiederholt dieses Verfahren einige Mal. Die Stellen, wo die Pole aufgesetzt wurden, erhalten eine dem betreffenden Pole gleichnamige Polarität. Man kann auch zwei Hufeisenmagnete auf einmal auf solche Stangen und zwar entweder beide in die Mitte der Stangen aufsetzen, oder jeden in die Nähe eines Ankers, aber immer so, daß derselbe Stab zugleich von zwei ungleichartigen Polen berührt wird. Im ersteren Falle zieht man die Magnete in entgegengesetzter Richtung gegen die Anker hin und über sie hinaus, im letzteren gegen die Mitte hin und dann quer über die Stange weg. Hat man mehrere Paare gleicher Stäbe zu magnetisiren, so kann man deren mehrere der Länge nach an einander legen, so daß sie zwei verlängerte Stangen formiren, die sich durch Anker verbinden und so magnetisiren lassen, als hätte man es nur mit zwei Stangen zu thun. (Hoffer in Zeit. n. F. 2. 197; 3. 193.) Mohr's Verfahren bezieht sich unmittelbar nur auf hufeisenförmige Stäbe, kann aber leicht auf gerade angewendet werden. Es unterscheidet sich von jenem Hoffer's, wo der Streichmagnet von der Wölbung des Hufeisens gegen dessen Enden hin geführt wird, nur dadurch, daß man, bevor der Streichmagnet vom Hufeisen abgezogen wird, ferner dem Hufeisen einen zweiten Anker auflegt, und dann den Magnet mit dem zuerst vorgesetzten Anker abzieht, so daß stets beide Hufeisen geschlossen bleiben. (Mohr in Pogg. Ann. 36. 542.) Nach Moser's vergleichenden Versuchen steht für zu magnetisirende Stäbe Mohr's

Verfahren dem von Hoffer nach, beide sollen aber von dem Mitchell'schen Doppelstriche übertroffen werden. (Dove's Repertorium der Physik 2. 141.)

286. Eine besondere Modification des Doppelstriches ist der Kreisstrich. Bei diesem werden vier Stahl- oder Eisenstäbe so gelegt, daß sie ein Quadrat bilden, und auf diesem zwei Magnete nicht weit von einander mit ungleichnamigen Polen mehrmal rings herum geführt. Wenn man mehrere Magnetstäbe durch einen Ring in der Richtung seiner Halbmesser streckt, so daß die ungleichnamigen Pole einander gerade gegenüberstehen und einen kleinen Raum zwischen sich übrig lassen; so kann man durch diesen einen Eisenstab oder einen Draht durchziehen und ihn dadurch magnetisiren. Auf diese Weise erhält derselbe nach seiner Länge so viele Pole, als man Magnetstangen angewendet hat, und jeder derselben liegt in einer mit seiner Axe parallelen Linie. Ein solcher Magnet ist dann ein Transversalmagnet.

In der neueren Zeit hat man am Sonnenlichte ein neues Mittel, Magnetismus zu erregen, kennen gelernt. Morechini fand zuerst, daß eine Stahlnadel magnetisch werde, wenn man sie in den violetten Theil des prismatischen Farbenbildes stellt, oder durch eine Sammellinse dieses Licht concentrirt auf sie fallen läßt. M. Sommerville hat diesen Versuch dahin abgeändert, daß sie die zu magnetisirende Stahlnadel zur Hälfte mit Papier bedeckte und sie dann durch violettes Licht beleuchtete. Sie fand nach einiger Zeit die Nadel magnetisch, und zwar hatte immer der dem Lichte ausgesetzte Theil einen Nordpol. Auch blaue und grüne Strahlen bewirken dasselbe, wiewohl erst nach längerer Zeit; die orangen gelben und rothen Strahlen brachten aber keine Wirkung hervor. Stahlnadeln von $^1/_3$ — $^1/_4$ L. Dicke werden auch magnetisch, wenn man sie an einem Ende polirt und dann dem vollen directen Sonnenlichte aussetzt: da bekommt das polirte Ende immer den Nordpol. Man kann auf diese Weise an einem Stücke so viele Nordpole erzeugen, als es polirte Stellen gibt. Es gehört aber dazu ziemlich intensives Licht, deßhalb (und vielleicht auch aus noch andern bisher unbekannten Gründen) gelingen solche Versuche nur in den schönsten Sommermonaten. Daß die Erwärmung daran keinen Antheil habe, sieht man daraus, daß man solche Nadeln mittelst des Lichtes auch unter Wasser magnetisiren kann. (Zeitsch. I. 263.) Es haben zwar Rieß und Möser diese Einwirkung des Sonnenlichtes läugnen zu müssen geglaubt, weil sie bei ihren Versuchen keine Magnetisirung durch Licht zu Stande bringen konnten; allein bei vorliegenden positiven Resultaten dürften negative anderer Experimentatoren keinen hinreichenden Grund gegen das Daseyn photomagnetischer Erscheinungen abgeben, um so mehr, da Zantedeschi's später zu erwähnende Erfahrungen über den Einfluß des Lichtes auf Magnete vorliegen. (Pogg. Ann 16. 563.) — Vom Magnetisiren durch Electricität wird in der Folge die Rede seyn.

287. Die Stärke eines so erzeugten Magnetes hängt bei sonst gleichen Umständen von der Kraft des Streichmagnetes und von der materiellen Beschaffenheit, Homogeneität, Gestalt und Größe der zu magnetisirenden Stange ab. An und für sich kann man mit einem schwachen Streichmagnete wieder nur schwache magnetische Kräfte

werken; allein mittelst eines besonderen Kunstgriffes kann man es dahin bringen, daß selbst schwache Magnete zu kräftigen magnetischen Magazinen verhelfen. Magnetisirt man z. B. einige gleichgeformte Hufeisen nur schwach, und legt sie dann mit ihren gleichnamigen Polen über einander, so geben sie einen viel stärkeren Magnet als jedes einzelne Element ist. Mit diesem kann man ein anderes Hufeisen schon stärker magnetisiren. Nimmt man dieses zu dem ganzen Bündel, trennt dafür ein anderes davon, und magnetisirt es wieder mit dem nun abermals stärker gewordenen zusammengesetzten Magnete, so nimmt es selbst wieder eine stärkere Kraft an, und so kann man, indem man dieses Verfahren auf alle einzelnen Hufeisen anwendet, zuletzt einen sehr starken zusammengesetzten Magnet erhalten. Auf diese Weise hat Knight sein magnetisches Magazin bereitet, das aus 480 Stahlstangen von 1 1/2 F. Länge bestand, und 1000 Pfund wog. Gerade Stäbe verbindet man mit ihren gleichnamigen Polen zu einem einzigen Bündel, und legt an ihre Pole Platten aus weichem Eisen mit vorstehenden Füßen (Fig. 303), damit man an dieselben einen Anker anbringen könne. Diese Vorrichtung nennt man die Armatur eines Magnetes.

288. Die Stäbe, welche zu Magneten bestimmt sind, sollen aus feinkörnigem, gleichartigen und durchaus gleichmäßig harten Stahle bestehen, und an der Oberfläche glatt gefeilt oder gar geschliffen seyn. Zu große Härte ist der Empfänglichkeit für den Magnetismus, zu geringe Härte der Dauer desselben nachtheilig. Eisenadern, Unterbrechungen der Continuität und der Gleichartigkeit benehmen dem Stahle die Empfänglichkeit für starken Magnetismus. Gut ist es, wenn die Breite eines Stabes ein Mehrfaches seiner Dicke und letztere überhaupt nicht bedeutend, jedoch auch nicht unter 1/4 Z. ist. Bei Hufeisen sollen die Schenkel möglich parallel und enge an einander gebogen seyn. Der Anker soll aus weichem Eisen bestehen, der Größe des Magnetes angemessen seyn, und sich gut, wenn auch nur in einer Linie, an die Polflächen anschließen. Man hat sogar angewiesen, ihn an die Magnetenden anzuschleifen. Gerade Stangen tragen selten mehr als ihr eigenes Gewicht, Hufeisen oft das zehnfache desselben. Verbindet man mehrere hufeisenförmig gebogene Stäbe mit einander, so gibt man dem mittleren die größte Dicke und Länge, und macht die äußeren an Dicke und Länge abnehmend. (Fig. 304.) Den Anker trägt dann nur der mittlere Stab.

Magnete von einigen Granen tragen oft mehr als das 50fache ihres eigenen Gewichtes, Magnete von 1 — 2 Pfund kaum das Zehnfache desselben. Cavallo sah einen Magnet, der 7 Gr. wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet, der 3 Gr. wog, trug armirt 1032 Gran, ein anderer von 1 Gr. Gewicht trug armirt 764 Gr. Der größte der bekannten armirten Magnete befindet sich im Taylor'schen Museum; er wiegt sammt der Armatur 307 Pfd. und trägt 230 Pfd. Mohr versah einen Magnet mit einem Anker, der einerseits flach, andererseits halbcylindrisch gewölbt war. Mit der flachen Seitenwand anliegend trug er 20 Pfd., mit der gewölbten 31 1/4 Pfd. Nobili

fand, daß zwei vollkommen gleiche Stahlstäbe, deren einer massiv, der andere der Länge nach durchbohrt, also hohl war und weniger Masse hatte als der erstere, ungleiche Kräfte durch Streichen annahmen. Im Zustande der Sättigung verhielt sich die Tragkraft des massiven Stabes zu jener des hohlen, wie 95 : 190.

289. Magnetisirt man ein dünnes gerades Stahlplättchen, bringt daran ein Hütchen an, und stellt es damit auf eine Spitze, oder hängt es an einem feinen Seidenfaden auf, damit es sich frei bewegen könne; so hat man die Vorrichtung, welche man Magnetnadel heißt. Fig. 299 stellt eine solche vor, wie sie auf einer verticalen Spitze ruht. Man gibt einer Magnetnadel häufig die Gestalt eines vierkantigen Prisma's oder eines schmalen und verhältnißmäßig langen Rhombus. Sie wird aus Uhrfederstahl bereitet, bei der Rothglühhitze gehärtet und dann temperirt, indem man sie von der Mitte aus bis zu einem Zolle von jedem Ende anlaufen läßt, bis die blaue Farbe wieder verschwindet. Die Politur hat auf die magnetische Capacität einer solchen Nadel keinen Einfluß. Ihre Richtkraft wächst im Verhältniß ihrer Länge und Masse. Meistens unterscheidet man ihre Pole durch die Farbe, oft auch durch ihre Gestalt. Man kann Magnetnadeln auch aus Nickel, ja nach Lampadius sogar aus einer Legirung von Platin oder Gold und Nickel machen, welche vor den stählernen den Vorzug haben, daß sie nicht so leicht rosten. — Dieses wichtige Werkzeug zeigt dem Schiffer zur See die Himmelsgegenden, und ist bei einem bewölkten Himmel sein vorzüglichster Führer, es dient dem Geometer bei Messungen unter der Erde oder durch Wälder zum Winkelmesser und Führer, und leistet überhaupt die besten Dienste, wenn Gegenstände, z. B. Sonnenuhren, Meßtische ꝛc. nach bestimmten Richtungen gestellt werden sollen. In manchem Falle ist eine Magnetnadel von Nutzen, welche sich nur in der Ebene des magnetischen Aequators bewegen kann, und darum astatisch heißt. Sie wird vom Erdmagnetismus nicht afficirt, und bleibt in jener Ebene in jeder Richtung stehen, wenn ihr Schwerpunkt in die Drehungsaxe fällt. Ampère hat eine solche Nadel angegeben, Fig. 305 stellt sie vor; Schmidt hat sie vereinfachet (Gilb. Ann. 70. 243). Man kann sich aber auch eine Nadel verschaffen, die bei jeder Abweichung vom magnetischen Meridane in Ruhe bleibt, und deßhalb astatisch genannt zu werden verdient, wenn man zwei gleich starke Magnetnadeln mit einander unveränderlich so verbindet, daß ihre ungleichnamigen Pole nach derselben Gegend hin gerichtet sind, wie Fig. 306, a und b zeigt.

Drittes Kapitel.

Gesetze der magnetischen Kräfte im Gleichgewichte.

290. Ein Magnet ist der Inbegriff mehrerer magnetischen Elemente, deren jedes von der Erde angezogen und abgestoßen wird, und zwar beides mit gleicher Intensität. Dieses geht daraus hervor, daß

das Gewicht eines Stahlstabes durch Magnetisiren nicht im geringsten geändert wird. Sind A M und B M (Fig. 307) die Pole eines Magnetes (Magnethälften), so wird jedes Element derselben von der Erde angezogen und abgestoßen. Stellen A C und B D die Richtungen und Größen der Kräfte vor, welche die Punkte A und B anziehen, A E und B F diejenigen, welche sie abstoßen; so sind die Diagonalen A G und B H der Parallelogramme A E G C und B F H D die zwei Resultirenden. Auf ähnliche Weise findet man diese Resultirenden jedes anderen Punktes der zwei Magnethälften; alle die Resultirenden eines Poles sind offenbar einander parallel, aber der Größe nach verschieden, sie haben auch eine ihnen parallele Resultirende, und es ist klar, daß die Resultirende der Kräfte des einen Poles jener der Kräfte des anderen nur dann das Gleichgewicht halten kann, wenn ihre Richtungen mit der Geraden A B zusammenfallen, welche so angenommen ist, daß für sie die Summe der Momente aller magnetischen Kräfte des betreffenden Körper den größten Werth hat. Man nennt sie die Axe des Magnetes. Umgekehrt kann man schließen, daß die Axe eines Magnetes, an welchem die Kräfte des Erdmagnetismus im Gleichgewichte stehen, in der Richtung der magnetischen Kraft der Erde liege. Demnach zeigt die Richtung eines frei schwebenden, in seinem Schwerpunkte aufgehängten Magnetes die Richtung der magnetischen Kräfte der Erde für den Beobachtungsort an.

291. Die Resultirende aller anziehenden und abstoßenden Kräfte, welche zwischen der Erde und jedem Elemente eines Magnetpoles Statt finden, muß der Summe dieser einzelnen Kräfte gleich seyn, und ihren Angriffspunkt in der Magnetaxe zwischen der indifferenten Ebene und dem äußersten Punkte des Poles haben. Der Mittelpunkt dieser magnetischen Kräfte (I. 92) ist der mathematische Pol. Man kann demnach annehmen, ein magnetischer, schwerer Körper werde von drei Kräften afficirt: 1) Von der Schwere, die vom Schwerpunkte vertical abwärts wirkt. 2) Von zwei gleichen, entgegengesetzten magnetischen Kräften, die in den Polen ihre Angriffspunkte haben, und mit der Richtung des Erdmagnetismus parallel wirken. Wird der Magnet im seinem Schwerpunkte unterstützt, so ist die Wirkung der Schwere auf ihn aufgehoben, und er gehorcht ganz allein den magnetischen Kräften. Wirkt auf einen Magnet außer dem Erdmagnetismus und der Schwere noch ein anderer Magnet, so muß er eine Richtung annehmen, welche mit jener der Resultirenden aller dieser Kräfte zusammenfällt. Ist ein solcher nur um eine, durch seinen Schwerpunkt gehende Axe beweglich, so folgt er der horizontalen Resultirenden der ihn afficirenden Kräfte.

292. Um eine der gegenwärtigen Entwicklung der Wissenschaft angemessene Kenntniß des magnetischen Zustandes eines Körpers zu haben, ist es nothwendig, daß man nicht nur seine ganze magnetische Kraft oder sein Tragvermögen überhaupt, sondern auch die Anordnung und Stärke des Magnetismus an verschiedenen Punkten desselben zu jeder Zeit anzugeben im Stande sey. Das Gewicht, wel-

ches ein Magnet zu tragen vermag, gibt für delicate Untersuchungen kein sattsam scharfes Resultat. Ein solches erhält man aber, wenn man den zu prüfenden Magnet im Schwerpunkte an einem sehr feinen, biegsamen Faden aufhängt, ihn im magnetischen Meridian in Ruhe kommen läßt, dann aus der Lage des Gleichgewichtes bringt und sich selbst überläßt. Da wird er wie ein horizontales Pendel oscilliren, und die Anzahl der Schwingungen, die er in einer bestimmten Zeit vollbringt, steht mit seiner magnetischen Kraft in Verbindung. Ist nämlich AB (Fig. 308) ein solcher Magnet in der Lage des Gleichgewichtes, ab seine Lage, in die er durch eine äußere Kraft gebracht ist, p die ihn richtende magnetische Kraft, und der Ablenkungswinkel $BCb = a$; so ist $p \sin a$ die Kraft, welche den Magnet in die Lage AB zurück zu führen sucht. Da nämlich p in einer mit AB parallelen Richtung wirkt, so sey $bc = p$, und man zerlege sie in die mit ab parallele be und in die darauf senkrechte bd, und man sieht leicht ein, daß be durch den Widerstand der Are aufgehoben und die Bewegung nur durch bd bestimmt wird. Es ist aber $bd = be \sin bcd = p \sin a$. Die Größe p ist das Product aus dem horizontal wirkenden Theil des Erdmagnetismus und der Kraft des Magnetes, mithin der letzteren Kraft proportionirt, wenn der Erdmagnetismus als unveränderlich angenommen wird. Ist nun N die Anzahl der Schwingungen, welche zwei gleich gestaltete und gleich träge Magnete in einer bestimmten Zeit vollbringen, P und p die Kräfte, welche die Schwingungen unterhalten, so hat man

$$N^2 : n^2 = P : p.$$

Denselben Zweck erreicht man auch durch Beobachtung der Zeiten, in welchen eine bestimmte Anzahl Schwingungen vollbracht wird. Heißen T und t diese Zeiten, P und p die Kräfte, welche die Schwingungen unterhalten, so ist:

$$T^2 : t^2 = p : P.$$

Es ist klar, daß man auf solche Weise auch die Kraft desselben Magnetes unter verschiedenen Verhältnissen finden kann.

293. Ist der Magnet, dessen Kraft unter verschiedenen Verhältnissen untersucht werden soll, vermöge seiner Gestalt oder aus anderen Gründen nicht zum Oscilliren geeignet; so kann man auch dadurch zum Ziele gelangen, daß man seine Einwirkung auf die Schwingungen eines kleinern Hilfsmagnetes beobachtet, dessen Coercitivkraft so groß ist, daß sein magnetischer Zustand durch die Nähe jenes Magnetes nicht modificirt wird. Man läßt nämlich diesen Hilfsmagnet zuerst unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingen, und zählt die Anzahl N der Schwingungen, welche er in einer bestimmten Zeit macht, bringt dann unter ihm den zu prüfenden Magnet so an, daß die Richtung seiner Einwirkung mit der des Erdmagnetismus parallel ist, und beobachtet die Anzahl N' seiner nun in derselben Zeit vollbrachten Schwingungen wieder. Heißt die hier wirkende magnetische Kraft der Erde M, die des Hilfsmagnetes M'; so ist offenbar

$$\frac{M + M'}{M} = \frac{N'^2}{N^2} \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Findet man, nachdem der zu prüfende Magnet eine Veränderung erlitten hat und die Kraft M' in M'' übergegangen ist, die Zahl der Schwingungen des Hilfsmagnetes unter dem vereinten Einflusse des zu prüfenden Magnetes und des Erdmagnetismus = N'', unter dem bloßen Einfluß der Erde aber wieder N; so ist

$$\frac{M + M''}{M} = \frac{N''^2}{N^2} \quad . \; . \; . \quad (2),$$

mithin aus (1) und (2)

$$\frac{M'}{M''} = \frac{N'^2 - N^2}{N''^2 - N^2}.$$

294. Untersucht man nach dieser Methode eine Stahlstange, nachdem man sie ein-, zwei- oder dreimal ꝛc. mit einem Magnet gestrichen hat, so erfährt man den Zuwachs der Kraft, den sie durch jeden Strich erhält, und überzeugt sich, daß diese Zunahme mit jedem folgenden Strich geringer wird, je mehr sich der magnetische Zustand der Stange jenem der Sättigung nähert. Jede Umkehrung der Pole eines Magnetes schwächt seine Empfänglichkeit für den Magnetismus, und es ist daher ein Stab immer des stärksten Magnetismus fähig, wenn seine Pole noch nie umgekehrt worden sind. Ja selbst wenn man einem Magnet, dessen Pole umgekehrt worden sind, seine erstere Polarität wieder geben will, so ist für ihn jene Streichmethode am ausgiebigsten, durch die er zuerst magnetisirt wurde. (Quetelet in *Ann. de chim.* 53. 148.) Uebrigens ist ein Magnet gleich nach dem Streichen, und bevor der Anker weggerissen worden ist, am stärksten, jedes Wegreißen des Ankers schwächt seine Kraft, aber desto weniger, je öfter man den Anker bereits weggerissen hat; zuletzt kommt man dahin, daß kein weiteres Wegnehmen des Ankers mehr schwächend auf die magnetische Kraft einwirkt. Weiches Eisen hält den Magnetismus stark und lange, wenn man den Anker nicht wegnimmt, das erste Wegnehmen des Ankers vernichtet aber gewöhnlich die ganze Kraft desselben. In einem Bündel gleich stark magnetisirter Stahlstäbe haben die äußeren stets eine stärkere Kraft als die inneren, und alle zusammen überhaupt eine geringere als die Summe der magnetischen Kräfte der einzelnen Stäbe war. Dieses scheint anzudeuten, daß auch in einem einzigen Stabe die magnetische Kraft von außen nach innen abnehme.

295. Schon durch die bloße Prüfung des Tragvermögens eines Magnetes, noch besser aber durch die vorher erklärten Schwingungsbeobachtungen erfährt man den Einfluß des Lichtes, der Wärme und der mechanischen Behandlung auf einen Magnet. Jede Erschütterung schwächt den Magnetismus, Schlagen und Stoßen kann denselben ganz vernichten, die Einwirkung des Lichtes soll nach Zantedeschi (Zeitsch. 1. 365) die magnetische Kraft steigern. Die Wärme wirkt schwächend auf die Kraft selbstständiger Magnete. Schon Gilbert hat dieses erfahren, und Saussure hat, um diesen Einfluß zu erkennen, ein besonderes Instrument (Magnetometer) construirt, bei welchem ein Eisenpendel durch einen Magnet desto mehr

aus der Lage, wohin es die Schwere versetzt, gebracht wird, je mehr jener darauf wirkt. Viel schärfere Resultate erhält man aber mittelst der Schwingungsmethode, wie sie Christie, Hansteen, Kupffer (*Ann. de Chim.* 30. 113) und neuestens Rieß und Moser (Pogg. Ann. 17. 403) zu diesem Behufe angewendet haben. Die Untersuchungen der letzteren haben über die Einwirkung der Wärme auf den Magnet das meiste Licht verbreitet und zu folgenden Resultaten geführt: Man muß eine zweifache Wirkung der Wärme auf Magnete unterscheiden, die eine ist bleibend, wenn auch die Temperatur, von der sie hervorgebracht wurde, vorübergegangen ist, die andere verschwindet mit der sie erzeugenden Temperatur und kehrt mit ihr wieder zurück; erstere hängt von dem Stoffe ab, an welchen der Magnetismus gebunden ist, und ist daher im Eisen anders als im Stahl, im weichen Stahl anders als im gehärteten, die letztere geht den Magnetismus allein an, und ist von der Natur des Magnetes unabhängig; jene läßt sich nicht im Allgemeinen in Rechnung bringen, für letztere gibt es Formeln, nach denen man sie berechnet. Wird ein Magnetstäbchen aus weichem Stahl in heißes Wasser getaucht, nach dem Abkühlen untersucht, dann wieder eingetaucht, und dieses Verfahren hinter einander öfter wiederholt, so findet man seine magnetische Kraft nach jedem Eintauchen schwächer, wenn es auch weder durch Oxydation, noch auf andere Weise eine Aenderung seiner Natur erlitten hat, aber die Schwächung nimmt ab, je öfter man bereits den Versuch vorgenommen hat, und zuletzt benimmt dem Magnet ein ferneres Erhitzen nichts mehr von jener Kraft, die er im kalten Zustande besitzt. Magnetisirt man ihn abermals, bis er seine anfängliche Kraft wieder erhalten hat, so wirkt eine Erhitzung gerade wie vorher auf ihn. Stäbchen aus hartem Stahl verhalten sich ganz anders, sie verlieren durch Erhitzen mehr als weiche, haben aber nach dem vollständigen Erkalten eine stärkere Kraft als während des Erkaltens, und verlieren, wenn man sie mehrmal magnetisirt und immer wieder erhitzt, dadurch jedesmal weniger, bis sie endlich gegen jede Erhitzung ganz unempfindlich werden, und daher keiner bleibenden Einwirkung von Seite der Wärme mehr unterliegen. Bei weichem magnetisirten Eisen gibt es überhaupt keine solche bleibende Einwirkung der Wärme, und da der Magnetismus desselben kein anderer seyn kann, als jener des Stahles, und dieser eine Schwächung durch Temperaturerhöhung erleidet, so geht daraus hervor, daß durch Wärme zugleich die Empfänglichkeit des Eisens für Magnetismus erhöht wird, und daß sich im Eisen beide Wirkungen der Wärme compensiren.

Die vorübergehende Wirkung der Wärme läßt sich für cylindrische, 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\,(1 - 0.000461)\,(t' - t)\,d$, für Nadeln von 34 L. und etwas darüber nach der Formel $J' = J\,(1 - 0.000324)\,(t' - t)\,d$ berechnen, wo J' und J die Intensitäten des Magnetismus für die Temperaturen t' und t° R., und d den Durchmesser der Nadel in Par. L. bezeichnen. Bei Kupffer's Versuchen hatte ein Magnetstab, der von 13° auf 80° R. erwärmt worden war, bei letzterer Temperatur nur etwa 0.85 der vorigen Kraft, aber selbst

als er wieder auf +3° R. abgekühlt war, betrug seine Stärke nur 0,94 der ursprünglichen. Soll ein Magnet seine Kraft möglichst unverändert beibehalten, so muß man ihn aus glashartem Stahle verfertigen, nach dem Magnetisiren mehrere Male hinter einander in etwa 40° heißes Wasser tauchen, ihn möglichst vor jeder Erschütterung sichern, und das Oxydiren desselben verhüten. Letzteres soll dadurch am leichtesten geschehen, daß man ihn in Kalkwasser liegen läßt oder in ein Tuch wickelt, das vorläufig in Kalkwasser oder in eine wässerige Glaubersalzlösung getaucht und hierauf gut getrocknet worden ist.

296. Außer der Stärke der gesammten Kräfte eines Magnetes ist noch die Vertheilung derselben im ganzen Körper von Wichtigkeit. Diese kann man wohl oberflächlich dadurch kennen lernen, daß man den betreffenden Magnet in Eisenfeile legt, und sieht, an welchen Stellen sich dieselbe am meisten anlegt, oder indem man sich kleine Drahtstücke von möglichst gleichen Dimensionen verschafft, die so leicht sind, daß der Magnet an jeder Stelle wenigstens eines derselben zu tragen vermag. Hängt man an jede der zu vergleichenden Stellen des Magnetes zuerst ein solches Drahtstück, daran ein zweites, drittes rc. und überhaupt so viele, als der Magnet zu tragen vermag; so wird man natürlich jene Stelle als die stärkste erkennen, wo die meisten Stücke dieser Art an einander hängen. Die Pole, als die Mittelpunkte der magnetischen Kräfte, findet man leicht mittelst einer Magnetnadel, in deren Nähe, und zwar senkrecht auf die Richtung des magnetischen Meridians, man den zu prüfenden Stab hin- und herschiebt, bis man die Lage trifft, wo die Magnetnadel nicht abgelenkt wird. Da liegt nun der Pol in dem Querschnitte, in welchem sich der magnetische Meridian befindet, und auf den daher die Magnetnadel hinweiset. Viel schärfere und unter sich numerisch vergleichbare Resultate erhält man aber durch Schwingungsversuche oder mittelst der Coulomb'schen Drehwage. Um die Vertheilung der magnetischen Kraft in einem Magnetstabe durch Schwingungsversuche zu finden, bedient man sich eines kleinen, aus sehr hartem Stahle verfertigten magnetischen Cylinders, der in horizontaler Richtung an einem feinen biegsamen Faden hängt. Den zu untersuchenden Stab bringt man in verticaler Lage im magnetischen Meridiane in die Nähe jenes Cylinders so, daß demselben jener Punkt horizontal gegenüber steht, dessen Magnetismus man erfahren will. Hierauf verrückt man den Cylinder aus dem magnetischen Meridiane, läßt ihn um denselben oscilliren, und zählt die in einer bestimmten Zeit vollbrachte Anzahl der Schwingungen. Macht man denselben Versuch, während man dem Cylinder immer andere Stellen des Stabes gegenüber stellt, und endlich wenn der Cylinder ganz frei unter dem bloßen Einfluß des Erdmagnetismus schwingt, so kann man das Verhältniß der magnetischen Kräfte der untersuchten Stellen mittelst der in 293 entwickelten Formel finden. Man darf aber dabei nicht übersehen, daß man dem Nordpole des oscillirenden Magnetes stets die Südhälfte des zu prüfenden und dem Südpole jenes die Nordhälfte dieses gegenüber stellen müsse.

297. Die magnetische Drehwage (Fig. 309) besteht aus einem prismatischen oder cylindrischen, horizontal schwebenden Magnete A (Magnetnadel), der mittelst eines sehr feinen elastischen Drahtes B in einem Glaskasten aufgehängt ist. Dieser Kasten hat in der Höhe, in welcher sich die Axe des Magnetes befindet, entweder eine Kreistheilung, oder eine dieselbe vertretende Chordenscale C, an der man die Größe der Ablenkung des Magnetes messen kann. Der Draht ist unten durch ein Gewicht D in Spannung erhalten, und oben am Deckel eines cylindrischen röhrenförmigen Aufsatzes E so befestigt, daß man ihn heben und senken, aber auch winden und zugleich den Torsionswinkel an einer besonderen Kreistheilung abnehmen kann. Soll dieses Instrument zu obigem Zwecke gebraucht werden, so läßt man die Magnetnadel im magnetischen Meridiane in Ruhe kommen, ohne daß der Draht eine Torsion erleidet, bringt dann zur Seite derselben den zu untersuchenden Magnet in verticaler Stellung so an, daß er der Nadel seine feindliche Polhälfte zuwendet. Hierdurch erfolgt eine Ablenkung des Magnetes der Wage. Diese bringt man durch Winden des Metalldrahtes auf eine bestimmte Größe, z. B. auf 4°, hebt oder senkt dann den schwebenden Magnet, damit er einem anderen Querschnitte des verticalen Magnetes gegenüber zu stehen komme, und bringt durch Auf- oder Zudrehen des Drahtes den Abstoßungswinkel wieder auf die vorige Größe. Denselben Versuch nimmt man für jeden zu prüfenden Querschnitt des verticalen Magnetes vor. Um nun aus diesen Daten die gesuchten Größen zu finden, muß man überlegen, welche Kräfte bei jedem Theile dieses Versuches auf die Magnetnadel wirken. Die Magnetnadel wird durch den Erdmagnetismus im magnetischen Meridiane erhalten. Wird ihr ein Magnet nahe gebracht, der sie abstoßt, so tritt sie aus dem Meridiane und wird in dieser neuen Lage von drei Kräften afficirt, nämlich von dem Erdmagnetismus, von der Kraft des feindlichen Magnetpoles und von der Elasticität des Drahtes. Vermindert man durch Drehen des Drahtes den Abstoßungswinkel, so ändert man dadurch jede der drei Kräfte, und es hält nun das Bestreben des Magnetes, vermöge des Erdmagnetismus in den magnetischen Meridian zurück zu kehren, vermehrt um das Bestreben des Drahtes sich aufzuwickeln, den abstoßenden Kräften der Magnete das Gleichgewicht. Da müssen nun vorerst die ersteren zwei Kräfte homogen gemacht werden, damit man ihre Resultirende finden könne. Dieses geschieht, indem man zu erfahren sucht, um wie viele Grade der Draht im freien Zustande gedreht werden müsse, damit sein Bestreben sich aufzudrehen, dem Bestreben des schwebenden Magnetes, aus einem bestimmten Abstoßungswinkel (in unserem Falle 4°) in den magnetischen Meridian vermöge des Erdmagnetismus zurück zu kehren, das Gleichgewicht halte. Dieses geschieht leicht, indem man, wenn die Magnetnadel sich selbst überlassen ist, und daher im magnetischen Meridiane steht, den Draht so stark dreht, bis die beabsichtigte Ablenkung vom Meridiane erfolgt. Kennt man diese Größe, so ist es leicht einzusehen, daß der gefundene Torsionswinkel, vermehrt um den

Abstoßungswinkel und um die überdieß dem Drahte ertheilte Torsion der abstoßenden Kraft der Magnete proportionirt sey.

Gesetzt, man habe gefunden, daß eine Torsion des Drahtes von 340° den Magnet um 4° aus dem Meridiane bleibend verrücke, und daß, um diese Ablenkung während der Einwirkung einer Stelle eines anderen Magnetes hervorzubringen, die Torsion des Drahtes 420°, während der Einwirkung einer anderen Stelle desselben Magnetes aber 560° betragen müsse. In diesem Falle verhalten sich die Kräfte dieser Stellen wie die Zahlen $340 + 4 + 420 : 340 + 4 + 560 = 764 : 904$ oder nahe wie $10 : 12$.

298. Wir verdanken vorzüglich Coulomb und in der neuesten Zeit Kupffer die genaue Untersuchung der Vertheilung der magnetischen Kraft in verschiedenen Magneten und der Lage ihrer indifferenten Stelle und ihrer Pole. Coulomb hat durch Versuche mit langen und verhältnißmäßig dünnen, cylindrischen und prismatischen Stäben gefunden, daß die Kraft derselben in der Mitte gleich Null sey, und von da zu beiden Seiten bis zu den Endpunkten sehr schnell wachse, so daß, wenn man die betreffende Entfernung von der Mitte des Stabes als Abscisse, die ihr entsprechende Kraft als Ordinate verzeichnet, die durch ihre Endpunkte geführte Curve, welche gleichsam die Vertheilung des Magnetismus sichtbar darstellt, gegen die Endpunkte des Stabes zu schnell steigt. Für Stäbe von verschiedener Länge, deren Dicke $^1/_6$—$^1/_8$ dieser Länge beträgt, gilt dieselbe Curve, mithin auch dasselbe Gesetz der Kraftvertheilung. Diese schnelle Zunahme der magnetischen Kräfte gegen die Enden zu macht, daß die Pole, als die Angriffspunkte der resultirenden Kräfte einer Magnethälfte immer nahe am Ende der betreffenden Hälfte liegen. Jede Aenderung in der Vertheilung der magnetischen Kräfte verrückt natürlich auch die Lage der Pole. Eine solche Verrückung wird erzeugt durch die Annäherung eines Magnetes, durch Erwärmen einer Magnethälfte, durch Zuschärfen oder Abrunden eines Endes, ja sogar durch die verschiedene Stellung des Magnetes gegen die Erde, indem nämlich der Magnetismus eines Körpers durch jenen der Erde in einer Lage verstärkt, in einer anderen geschwächt wird, wieder in einer anderen dadurch gar keine Affection erleidet.

Die Zunahme der Kraft jedes Magnetpoles gegen sein Ende ist eine natürliche Folge der Wirkung der magnetischen Elemente auf einander. Man denke sich eine Reihe solcher Elemente A, B, C, D ꝛc. (Fig. 310), deren Nordpole a, a′, a″, a‴ ꝛc., deren Südpole b, b′, b″, b‴ ꝛc sind, und betrachte die Wirkung, welche auf jedes einzelne Element von den übrigen ausgeübt wird. Der Pol b des Elementes A wird von den Polen a′, a″, a‴ ꝛc. angezogen, und von den Polen b′, b″, b‴ ꝛc. abgestoßen; weil aber die ersteren näher an a liegen als die letzteren, so bekommt die anziehende Kraft das Uebergewicht, und durch diese wird ein Theil der Kraft von b gebunden, und eben dadurch noch mehr Kraft in a frei. Es hat demnach in A die Kraft des Poles a das Uebergewicht. Auf das Element B wirken die Elemente C, D ꝛc. eben so, wie auf A, und auch hier wird die Kraft des Poles a′ die vorwaltende, jedoch weil A auf B eine gleiche aber entgegengesetzte Wirkung ausübt, wie C, so wird die vorwaltende Kraft des Poles a′ kleiner als die des

Poles a u. s. f. Ein von anderen Elementen symmetrisch umgebenes Element kann keine Kraft äußern und an den auf der entgegengesetzten Seite liegenden Elementen wird die vorwaltende Kraft die der Pole b‴, b″ ꝛc. seyn. Bei einem Versuche, den Coulomb über die Vertheilung der magnetischen Kraft in einem 27 Zoll langen Stahlstabe angestellt hat, ergab sich, daß die Größe dieser Kraft in den Stellen, deren Entfernung vom Nordende 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 war, durch die Zahlen 165, 90, 48, 23, 9, 6 ausgedrückt wurde. Derselbe Gelehrte fand durch Rechnung, daß die Pole dieser Stange 18Z. von jedem Ende entfernt waren. An rautenförmigen langen Magnetstäben liegen die Pole nicht weit vom Centrum. Bei sehr kurzen Magneten befinden sich die Pole um $^1/_4$ der Länge von jedem Ende entfernt; breite und kurze Magnete haben oft mehrere Pole, bei Ringen liegen sie nicht immer in einem Durchmesser. Bei pfeilartigen Magneten gibt es selten constante Pole. Man kann den Ort der Pole recht leicht mittelst eines kurzen weichen, in einer Glaskugel befindlichen Drahtstückes finden, das man auf einem horizontal liegenden Magnete von der Mitte aus gegen das Ende hinführt; denn an der Stelle eines Poles steht dieses vertical, an jeder anderen Stelle schief oder gar horizontal. — Ein bis zur Sättigung magnetisirter, an einem Ende abgerundeter Stab hat die indifferente Stelle in der Mitte; wird jenes Ende zugespitzt, so rückt der Indifferenzpunkt der Spitze näher. Bei einer Erhöhung der Temperatur rückt der Mittelpunkt der Kräfte dem Mittelpunkte der Stange immer näher. Etwas Aehnliches geht vor, wenn eine Eisenstange erwärmt wird, die bloß vom Erdmagnetismus afficirt wird. Erwärmt man nur einen Pol eines Magnetes, so entfernt sich der Indifferenzpunkt vom erwärmten Ende, erkältet man ihn, so rückt dieser Punkt näher an den Pol. Letzteres erfährt man am leichtesten, wenn man eine kleine Magnetnadel zwischen zwei in derselben Horizontalebene befindliche und auf ihrer Richtung senkrechte Magnetstangen so anbringt, daß die Nadel nicht aus dem magnetischen Meridiane verrückt wird, in welchem Falle die Indifferenzpunkte beider Magnete in die Richtung der Magnetnadel fallen. Wird nun ein Pol einer der zwei Stangen erwärmt, so wird die Magnetnadel alsogleich abgelenkt, zum Beweise, daß der Indifferenzpunkt verrückt worden ist. Die Richtung dieser Ablenkung gibt zugleich die Richtung der Bewegung des Indifferenzpunktes an.

299. Merkwürdig ist die Veränderung, welche der Magnetismus eines geraden oder hufeisenförmigen Stahlstabes während des Streichens erleidet: Setzt man auf ein Hufeisen, dem der Anker vorgelegt ist, einen Streichmagnet, so wie Fig. 300 zeigt, so haftet der Anker augenblicklich fest, und jedes Ende hat die Polarität des darauf gesetzten Poles. Führt man den Streichmagnet gegen die Wölbung hin, so nimmt der Magnetismus jedes Schenkels ab, ohne jedoch seine Polarität zu ändern, und erlangt ein Minimum, wenn der Streichmagnet in einer gewissen Entfernung von den Endflächen steht. Hat das Hufeisen durch wiederholtes Streichen gegen die Wölbung hin das Maximum seiner Kraft erreicht, so findet man stets in der Nähe der Wölbung an jedem Schenkel einen Folgepunkt. Anders ist es, wenn der Streichmagnet an der Wölbung aufgesetzt, und das Streichen von da gegen die Enden vollführt wird (Fig. 301). Da hält, wenn der Streichmagnet aufgesetzt ist, der Anker noch gar nicht fest, und man bemerkt erst ein Festhalten desselben, wenn man mit dem Streichen gegen die Ankerflächen zu auf

eine gewisse Stelle gekommen ist, und dieses Festhalten nimmt zu, so wie man den Streichmagnet von da den Enden zuführt. Zieht man den Magnet in der Nähe der Endflächen weg, so nimmt die magnetische Kraft des Hufeisens während des Wegziehens rasch ab, und ist, wenn der Streichmagnet das Hufeisen nur mehr an wenigen Punkten berührt, ganz verschwunden, so daß der Anker von selbst wegfällt, kehrt aber mit neuer Stärke augenblicklich zurück, sobald der Streichmagnet ganz weggezogen ist. Dieses Spiel der Kräfte ist das Resultat der gemeinschaftlichen Wirkung des Streichmagnets, des magnetischen Hufeisens und des Ankers. (Hoffer in Zeitsch. n. F. 2. 360.)

Früher hatte man über den inneren Verlauf beim Streichen einer Eisenstange mit einem Magnetpole folgende Vorstellung: Wenn man den Nordpol eines Magnetes auf das Ende A (Fig. 311) der Eisenstange AB aufsetzt, so soll A einen Südpol und B einen Nordpol erhalten; fährt man nun mit dem Magnete von A nach B, so soll, sobald man in B angelangt ist, B den Südpol und A den Nordpol haben, mithin während der Bewegung des Magnetes A vom Südpol in den Nordpol übergegangen seyn, und B umgekehrt vom Nordpol in den Südpol, und es muß jener Magnet sich auf irgend einem Punkte E befunden haben, während A weder Nord-, noch Südpol war, und eben so in D, während dasselbe mit B Statt fand. E und D heißt der Entdecker Brugmann Indifferenzpunkte. Man muß aber diese Indifferenzpunkte von den in jedem Magnete vorhandenen, wo gleichsam die zwei polaren Hälften an einander grenzen, wohl unterscheiden. Jene finden sich bei allen Eisen- und Stahlstäben, und haben nur bei verschiedenen Dicken und Längen und bei einem verschiedenen Grade ihrer Härte, so wie bei einer verschiedenen Stärke des Magnets, auch verschiedene Lagen. Die Polarität von B, welche durch Berührung des Punktes A mit einem Pole des Magnets erzeugt wird, nimmt nicht augenblicklich ab, wenn man damit von A gegen B fährt, sondern es bekommt der so erzeugte Pol seine größte Stärke, wenn sich der Magnet etwa in C befindet; zieht man den Magnet weiter nach B, so nimmt diese Polarität wieder ab, wird bei D = 0, und geht endlich in die entgegengesetzte über. Der Punkt C heißt nach van Swinden, dessen Aufmerksamkeit wir seine Kenntniß verdanken, der culminirende Punkt. (Brugmann's phil. Versuche über die magnetische Materie, aus dem Lateinischen, Leipzig 1784.)

300. Die Einwirkung zweier magnetischen Elemente auf einander steht bei gleicher Entfernung im geraden Verhältnisse ihrer magnetischen Kräfte. Bei ungleichen Entfernungen wächst ihre Einwirkung, so wie das Quadrat ihrer Entfernung abnimmt. Dieses Gesetz hat schon im Jahre 1781 Della Bella bewiesen, Coulomb hat dasselbe, ohne jene Arbeit zu kennen, mittelst seiner Drehwage und durch Schwingungsversuche gefunden. Es wurde zu diesem Ende an die Seite des horizontal schwebenden Magnets der Drehwage ein verticaler Magnet gestellt, der jenen abstieß. Bei einem Versuche betrug der Abstoßungswinkel 24°; wenn der Draht gar keine Windung hatte, hingegen 17°, wenn er eine Windung von $3 \times 360 = 1080°$ hatte. Der Magnet der Drehwage konnte, vorläufigen Versuchen gemäß, durch eine Windung von 35° um 1° abgelenkt werden, mithin durch eine Torsion von $24 \times 35° = 840°$ um 24°, und durch eine Torsion von $17 \times 35° = 595°$

um 17°. Es verhielt sich also diese ablenkende Kraft beim Abstoßungswinkel 24° zu der beim Abstoßungswinkel 17° wie $24 + 840 : 17 + 1080 + 595 = 864 : 1692$ oder nahe wie $1 : 2$, während sich die Quadrate der Abstände wie $24^2 : 17^2 = 576 : 289$, oder fast wie $2 : 1$ verhielten. Etwas Aehnliches findet man für die magnetische Anziehung. Bei einem Oscillationsversuche hat Coulomb gefunden, daß eine Magnetnadel, die unter dem bloßen Einflusse des Erdmagnetismus in einer Minute 15 Schwingungen machte, deren in derselben Zeit 24 vollbrachte, als er ihr den ungleichnamigen Pol eines Magnets in der Ebene des magnetischen Meridians auf 8 Zoll Entfernung gegenüberhielt, und endlich 41, als diese Entfernung nur 4 Zoll betrug. Hier verhalten sich die Entfernungen wie $2 : 1$, und die anziehenden Kräfte des Magnets wie $24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 = 351 : 1456$, d. i. nahe wie $1 : 4$.

301. Ein Magnet sucht in jedem Körper, in dessen Nähe er kommt, die beiden Bestandtheile des magnetischen Princips von einander zu trennen und ihn selbst zu einem Magnet zu machen, aber der Erfolg dieses Bestrebens ist bei übrigens gleichen Umständen desto bedeutender, je kleiner die Coercitivkraft eines solchen Körpers ist. Darum sind Versuche über die Einwirkung verschiedener Körper auf die Richtung eines frei schwebenden Magnets oder über die Einwirkung eines Magnets auf einen anderen frei schwebenden Körper besonders geeignet, uns über die Größe der Coercitivkraft in verschiedenen Materien und über den Einfluß äußerer Umstände auf dieselbe Aufschluß zu geben. Wenn man eiserne Stäbe nach einander in eine gewisse Lage und Entfernung gegen eine sehr bewegliche Magnetnadel bringt und die Ablenkung beobachtet, welche sie durch jeden einzelnen erleidet; so erfährt man dadurch die Größe der Einwirkung dieser Stäbe. Barlow fand auf diesem Wege, daß Stäbe von verschiedener Härte in der Richtung der magnetischen Neigung auch verschieden auf eine Magnetnadel einwirken. Nach seinen Versuchen ist die Einwirkung des Schmiedeisens am größten, hierauf folgt weicher Gußstahl, dann weicher Brennstahl, dann natürlicher weicher Stahl, hierauf derselbe gehärtet, und zuletzt Gußeisen. Es hat daher Schmiedeisen die kleinste, Gußeisen die größte Coercitivkraft, und die der übrigen liegt in der angeführten Ordnung zwischen beiden. Die Coercitivkraft ist in demselben Eisen bei verschiedenen Temperaturen verschieden, besonders bei der Weiß- und Rothglühhitze. Biegt man ein Stück Eisen hufeisenförmig, so kann man zwischen die zwei Arme desselben, die A und B heißen mögen, einen Pol eines Magnetes so stellen, daß er durch das Eisen keine Ablenkung erleidet, mithin beide Arme desselben gleich stark darauf einwirken. Erhitzt man nun das Eisen in der Nähe von B bis zum Weißglühen, so wird der Magnet von A angezogen, thut man dasselbe in der Nähe von A, so zieht B den Magnet an. Erhitzt man z. B. B bis zum Weißglühen, und hält an den hinteren Theil des Hufeisens einen Pol eines starken Magnetes, so erhält das kalte Ende A einen stärkeren Magnetismus als B, sobald aber beim Auskühlen die Temperatur von B zur Rothglühhitze herabgesunken ist, hat B die größere Kraft.

(Barlow in Gilb. Annalen 73. 229. Ritchie in Pogg. Ann. 14. 150.) Hieraus kann man schließen, daß die Coercitivkraft des weißglühenden Eisens durch den Einfluß des Magnetes nicht überwältiget werde, die des rothglühenden hingegen leichter als die des kalten, mithin, daß die Weißglühhitze die Coercitivkraft steigere, die Rothglühhitze sie hingegen schwäche. Barlow's Behauptung, daß die Einwirkung eines Magnetes auf Eisen, welches sich gerade zwischen der Dunkel- und Hellrothglühhitze befindet, die entgegengesetzte von der sey, die bei kaltem Eisen Statt findet, ist unrichtig. Merkwürdig ist es, daß ein Stäbchen aus weichem Eisen, dessen Coercitivkraft durch zwei hinreichend entfernte Magnete, zwischen deren entgegengesetzten Polen es sich befindet, nicht überwältigt, und welches daher durch sie nicht magnetisch wird, alsogleich als Magnet erscheint, wenn es in dieser Lage durch einen harten Körper, wie durch Messing, Kupfer, Zink, Glas oder Holz der Länge nach gerieben wird.

Nach Coulomb gibt es keine Substanz, die gegen einen Magnet ganz unempfindlich ist, deren Coercitivkraft daher nicht einigermaßen davon afficirt wird; denn kleine frei schwebende Nadeln von was immer für einem organischen oder unorganischen Stoffe nehmen eine bestimmte Stellung an, wenn man sie zwischen die entgegengesetzten Pole starker Magnete bringt, und setzt man sie in Schwingungen, so werden sie auffallend durch die Magnete beschleunigt. Merkwürdig ist es, daß alle Legirungen, die Eisen enthalten, ja reines Eisen selbst, wenn es aus mehreren unregelmäßig angehäuften Bruchstücken besteht, zwischen den Polen starker Magnete eine Lage annehmen, bei welcher ihre Längenaxen mit der Axe der Magnete einen Winkel einschließen, welches beweiset, daß sie selbst magnetisch geworden sind, daß aber ihre Pole in einer Querlinie (transversal) liegen. (Seebeck in Pogg. Ann. 10. 203. Becquerel ebend. 12. 622.)

302. Körper, deren Coercitivkraft gering ist, werden schon durch den Erdmagnetismus in einen magnetischen Zustand versetzt, sobald sie eine dazu passende Lage haben, und dieses ist der Fall, wenn sie sich außer dem magnetischen Aequator befinden. Eine vertical stehende weiche Eisenstange hat immer unten einen Nordpol, oben einen Südpol, ja nach Hansteen ist dieses mit jedem vertical stehenden Körper, sogar mit Bäumen, Mauern &c. der Fall. In einer Masse aus weichem Eisen oder Stahl bringt das Vorhandenseyn der absichtlich durch Magnetisiren und der durch die Erde erzeugten magnetischen Kraft merkwürdige Erscheinungen hervor. Hat ein solcher Körper die Gestalt eines Stabes, so ist in einer verticalen Stellung desselben sein Magnetismus stets größer, wenn der Nordpol abwärts gekehrt ist, als wenn er aufwärts gerichtet ist, weil im ersten Falle die vom Erdmagnetismus erregten Pole mit den gleichnamigen, im zweiten hingegen mit den ungleichnamigen, künstlich erzeugten zusammenfallen. Besonders auffallend ist das Verhalten regulärer, z. B. sphärischer oder kubischer, vom Erdmagnetismus afficirter Körper, welches zuerst Barlow (Gilb. Ann. 73. 1) und hierauf Schmidt (ebend. 74. 225) näher untersucht haben. Nach Barlow gibt es in einer Kugel ge-

wisse Kreise, in welchen sie auf einen Magnet gar nicht einwirkt, während sie in anderen Stellungen bald anziehend, bald abstoßend wirkt. Dasselbe findet mit Würfeln Statt. Ist z. B. SN (Fig. 312) eine horizontal schwebende Magnetnadel, C ihr Mittelpunkt, I, II, III eine störende Eisenmasse in drei verschiedenen Lagen, wovon I so steht, daß der durch den Mittelpunkt der Magnetnadel C gehende magnetische Aequator CD den Mittelpunkt der Eisenmasse trifft. In jeder der drei Lagen ist die Eisenmasse durch den Erdmagnetismus in zwei magnetische Hälften getheilt, s ihr Südpol, n ihr Nordpol, während N der Nordpol und S der Südpol der Magnetnadel ist. s wirkt auf N anziehend und auf S abstoßend, n hingegen auf N abstoßend und auf S anziehend. Die Pole n und s wirken auf N stärker als auf S, und beide Wirkungen erfolgen zusammen eben so, als wenn N und S in C vereinigt wären. Deßhalb müssen n und s in I auf C gleich stark, aber entgegengesetzt wirken, und können keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbringen, während in II der Pol n und in III der Pol s vorherrschend auf C wirkt, und daher dort der Nordpol der Nadel abgestoßen, hier angezogen wird. Diesem gemäß sind leicht zwei Eisenmassen denkbar, die auf eine Magnetnadel zwei gleiche und entgegengesetzte Einflüsse ausüben und sie daher gar nicht aus ihrer Lage bringen, und man wird sich vorstellen können, wie die Wirkung einer Eisenmasse auf einen Magnet durch Zugabe einer anderen Eisenmasse, die eine bestimmte Stellung einnimmt, aufgehoben werden könne. Von dieser Art ist die sogenannte neutralisirende Platte, welche Barlow auf Schiffen anbringt, um durch sie den Einfluß des Eisens auf den Compaß bei jeder Ortsveränderung des Schiffes aufzuheben.

Viertes Kapitel.

Erdmagnetismus.

303. Es ist erwiesen, daß die Erde selbst magnetische Kräfte besitzt. Diese Kräfte mögen an Stärke, Anzahl und Richtung wie immer beschaffen seyn, so haben sie doch gewiß für jeden Punkt der Erde eine bestimmte Resultirende, deren Richtung die Axe einer frei schwebenden Magnetnadel anzeigt. Auf die nähere Bestimmung dieser Richtung muß nun der Physiker vor Allem ausgehen. Sie ist bekannt, wenn man die magnetische Abweichung und Neigung an jedem fraglichen Punkte der Erdoberfläche gefunden hat.

304. Zur Bestimmung der magnetischen Abweichung hat man eigene Instrumente, sogenannte Declinatorien, die meistens sehr complicirt gebaut und kostspielig sind. Allen bis jetzt bekannten macht das von Gauß angegebene den Rang streitig. Dieses besteht aus einem 1—25 Pfund schweren, an Seidenfaden oder Metalldraht hängenden Magnetstabe von 1—4 Fuß Länge und angemessener Breite und Dicke. An einem Ende dieses Stabes ist senkrecht darauf ein kleiner Planspiegel aufgesetzt. Der Stab befindet sich in einem Kasten,

durch dessen Decke der Aufhängungsfaden geht, und der seitwärts eine Oeffnung hat, welche etwas größer ist als jener Spiegel. Diesem gegenüber, etwa in der Entfernung von 16 F. befindet sich ein Theodolith, dessen Fernrohr die Axe im magnetischen Meridian hat, und auf die Mitte des Spiegels gerichtet ist. Der Theodolith steht etwas höher, als die Magnetnadel hängt, und daher muß das Fernrohr stets etwas nach abwärts geneigt seyn. Am Stativ des Theodolith befindet sich eine in Millimeter getheilte, horizontal laufende Scale, in einer auf den magnetischen Meridian senkrechten Richtung. Der Werth derselben läßt sich leicht nach Graden, Minuten und Secunden finden. Von der Mitte des Objectivs hängt ein feiner, durch ein Gewicht gespannter Faden herab, und bezeichnet auf der Scala den Punkt (Nullpunkt), welcher mit der optischen Axe des Fernrohrs in derselben Verticalebene liegt. Durch das Fernrohr sieht man im Spiegel einen Theil der Scale. Richtet man das Fernrohr zuerst auf ein Object von bekanntem Azimuth, und dann auf das Bild des Nullpunktes der Scale im Spiegel, so hat man die zur Berechnung der Abweichung nöthigen Daten.

305. Auch zur Bestimmung der magnetischen Neigung hat man ein besonderes Instrument, welches magnetisches Inclinatorium heißt. Die Construction eines solchen Instrumentes ist noch delicater als die eines Declinatoriums, weil es sehr schwer hält, einen Magnet genau in seinem Schwerpunkte zu unterstützen und um eine horizontale Axe sehr beweglich zu machen. Indeß kann man durch ein von J. Mayer angegebenes, sehr sinnreiches Verfahren doch sehr genaue Resultate erhalten. Man kann aber auch aus der Anzahl der Schwingungen, welche ein Magnet in einer gewissen Zeit macht, wenn er in der Ebene des magnetischen Meridians und dann in einer darauf senkrechten verticalen Ebene oscillirt, seine Neigung mit großer Schärfe bestimmen. Oscillirt nämlich ein Magnet in der Ebene des magnetischen Meridians um eine horizontale Axe, so wirkt auf ihn die ganze Kraft des Erdmagnetismus $= P$; geschehen aber die Oscillationen in einer darauf senkrechten verticalen Ebene, so bewegt ihn nur der vertical wirkende Theil des Erdmagnetismus. Ist I die magnetische Neigung, so ist letztere Kraft $P \sin I$. Werden in einer gewissen Zeit in ersterer Ebene N, in der zweiten n Oscillationen gemacht, so hat man

$$N^2 : n^2 = P : P \sin I, \text{ und daher } \sin I = \frac{n^2}{N^2}.$$

306. Ueber die Stärke der magnetischen Kraft der Erde an verschiedenen Punkten ihrer Oberfläche geben Versuche mit Schwingungsmagneten die genauesten Aufschlüsse. Der Gauß'sche Apparat (304) ist dazu besonders geeignet, weil die schwere Nadel anhaltend in sehr kleinen Bögen schwingt, von fremden Einflüssen höchst unabhängig ist, und sich die Dauer einer Schwingung mit großer Schärfe bestimmen läßt. Aus dieser Dauer läßt sich mittelst Rechnung die absolute Größe des horizontalen Theiles des Erdmagnetismus finden. Zur Bestimmung der relativen Größe dieser Kraft dienen beobachtete Schwingungszahlen, die in bestimmten Zeiten vollbracht werden (274). Dividirt

man die so gefundenen absoluten oder relativen magnetischen Kräfte durch den Cosinus der magnetischen Neigung, so erhält man die Kraft des ganzen Erdmagnetismus. Man kann auch Inclinationsnadeln im magnetischen Meridian oscilliren lassen, und dadurch gleich die unzerlegte Erdkraft finden. (Kupffer in Pogg. Ann. 39. 225.) Man nimmt gewöhnlich bei Bestimmung der relativen Intensitäten des Magnetismus die von A. Humboldt im Jahre 1799 in Peru bestimmte Stärke des Erdmagnetismus als Einheit an.

Man darf aber hier, so wie bei Schwingungsversuchen zum Behufe der magnetischen Inclination, nicht vergessen, daß die Resultate derselben nur dann mit einander vergleichbar sind, wenn der Magnet stets dieselbe Kraft behält oder die Aenderung derselben in Rechnung gebracht werden kann; denn die Kraft, welche auf ein magnetisches Pendel wirkt, ist eigentlich das Product aus der Kraft des Magnetes in die der Erde, und zwei solche Kräfte verhalten sich nur dann wie die Kräfte der Erde, wenn der Magnet stets dieselbe Intensität behält. (Pogg. Ann. 18. 226; 19. 161; 25. 228. Schweigg. Journ. 57. 79. *Intensitas vis magneticae ad mensuram absolutam revocata autore C. F. Gauss. Goettingae*, 1833. Pogg. Ann. 28. 241, 591.)

307. Die magnetische Abweichung ist, so wie alle übrigen Elemente des Erdmagnetismus, in der neuesten Zeit mit besonderem Fleiße und von ausgezeichneten Gelehrten (Humboldt, Erman, Hansteen, Arago ꝛc.) untersucht worden. Die Resultate dieser als auch der älteren Beobachtungen sind folgende: Die Abweichung der Magnetnadel ist nicht an allen Orten dieselbe; es gibt Stellen der Erde, wo gar keine Abweichung ist, und wo daher der Nordpol einer Magnetnadel genau nach dem Nordpol der Erde hinweiset; in einigen Orten ist die Abweichung westlich, wie z. B. gegenwärtig in ganz Europa, in anderen östlich, wie z. B. jetzt an der Westküste von Amerika. Linien, welche durch Orte von gleicher Abweichung gehen, heißen isogonische. Solche Linien von 0° Abweichung gab es im Jahre 1829 auf der Erde nach Erman (Pogg. Ann. 21. 119) nur zwei, doch hat jede mehrere Zweige. Eine dieser Linien geht durch das Festland von Asien bei Nischnei Nowgorod, das Ochozker Meer, den großen Ocean, dann durch den Continent von Neuholland zum Südpole der Erde; die andere geht vom Südpole der Erde aus, durchschneidet den südlichen atlantischen Ocean, tritt etwas nördlich von Rio-Janeiro in den amerikanischen Continent und durchschneidet Nordamerika. Diese beiden Linien sind sich an Gestalt keineswegs völlig ähnlich, und gleichen überhaupt nicht Linien von einfacher Krümmung. Die isogonischen Linien von anderen Abweichungswerthen sind an Gestalt sehr verschieden. Erman führt vier verschiedene Formen derselben an, und zwar 1) geschlossene, d. h. solche, die in sich zurückkehren, ohne einen der beiden astronomischen Erdpole zu erreichen; 2) zurückkehrende, d. h. solche, die von einem Erdpole ausgehen und wieder dahin zurückkehren, ohne den anderen Pol zu treffen; 3) kreuzende, d. h. solche, die von einem Pole zum andern gehen, endlich 4) solche, die sich an einem Puncte in zwei Zweige spalten, in einen zurückkehrenden und in einen kreuzenden.

Die Gestalt und Lage dieser ist keineswegs unveränderlich; denn die Abweichung unterliegt beständigen Aenderungen, und die Magnetnadel rückt an einigen Orten jährlich um einige Minuten nach Westen, an anderen nach Osten, wieder an anderen bleibt sie aber einige Zeit ohne merkliche Bewegung. Vor Anfang dieses Jahrhunderts war die westliche Abweichung in ganz Europa im Zunehmen, bald nach Anfang dieses Säculums blieb sie einige Zeit unverändert, nun nimmt sie aber ab, und wird ohne Zweifel, wenn sie = 0 geworden und dann in östlicher Richtung ihr Maximum erreicht hat, wieder zurückkehren. Die ganze Bewegung ist demnach eine oscillatorische, allein nicht eine einfache, sondern eine aus mehreren Oscillationen von kürzerer Dauer zusammengesetzte. Man bemerkt nämlich an einer sehr empfindlichen Magnetnadel, wie die nach Gauß's Methode adjustirte ist, eine tägliche und jährliche Bewegung derselben. In der nördlichen Erdhälfte bewegt sich der Nordpol einer Magnetnadel von Morgen zwischen 6—9 Uhr, wo er den östlichsten Stand hat, bis gegen 1—2 Uhr rasch nach Westen, und kehrt dann mit einer geringen Unterbrechung bis 1—2 Uhr Morgens allmälich wieder nach Osten zurück. Nach 1—2 Uhr beginnt eine zweite Schwingung von siebenstündiger Dauer, die aber nicht so regelmäßig der Zeit nach erfolgt, auch der Größe nach völlig unbedeutend ist, und mehr als ein unbestimmtes Schwanken angesehen werden kann. Die Zeit des Maximums der westlichen Abweichung tritt in den Sommermonaten früher ein, als in den Wintermonaten; alles erfolgt aber in Tiefen, wo keine Temperaturänderung mehr vorgeht, eben so wie auf der Erdoberfläche. In der südlichen Halbkugel findet in Bezug auf die Richtung dieser Bewegungen gerade das Entgegengesetzte Statt. Die Größe dieser täglichen Oscillationen ist nicht bloß in verschiedenen Orten, sondern selbst an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten verschieden. Im Allgemeinen wächst diese Größe mit der geographischen Breite, und ist am Aequator am kleinsten, an den Polen am größten. Das jedem Tage entsprechende Mittel der Declination findet zwischen 10—11 Uhr Vormittags Statt. Dieser Werth variirt aber von Tag zu Tag, weil die Abweichungsnadel auch einer jährlichen Oscillation unterliegt. Es geht nämlich ihr Nordpol in der nördlichen Halbkugel vom November, wo er den westlichen Stand hat, gegen Osten, und erreicht im Mai seine östlichste Stellung, von wo er wieder nach Westen zurückkehrt. Innerhalb März und Mai findet das Mittel der jährlichen Abweichung Statt. Aus dem Gebundenseyn dieser Veränderungen an fixe Stunden und Monate geht schon hervor, daß sie nicht an allen Orten in demselben Augenblicke beginnen, sondern daß der Anfang einer Oscillation von Ost nach West (mit der Sonne) fortrücke. Merkwürdig ist der Umstand, daß die Declination auch vom Mondesstande abzuhängen, und daß der Mond den Südpol eines Magnetes anzuziehen scheint (Pogg. Ann. 43. 292). Außer diesen regelmäßigen Bewegungen einer Abweichungsnadel gibt es auch noch unregelmäßige, eigentliche **Störungen**, denen bald locale, bald allgemeine Ursachen zum Grunde liegen. Diese Störungen zeigen sich

entweder als unruhiges Schwingen der Nadel oder als Abweichung von dem gewöhnlichen Stande. Beide nehmen mit der geographischen Breite ab, erstere sind aber bei schwachen Nadeln und an der Erdoberfläche stärker als bei starken Nadeln und in Tiefen von beständiger Temperatur. Die stärksten Störungen treten zur Zeit eines Nordlichtes ein, und zeigen sich selbst an Orten, wo das Nordlicht nicht sichtbar ist, erstrecken sich auch mit bewunderungswürdiger Gleichzeitigkeit auf ungeheure Entfernungen; indeß hat man derlei Störungen auch anderen Meteoren, z. B. starken Schneefällen, vorangehen gesehen. (Dove in Pogg. Ann. 19. 357. Resultate des magnetischen Vereines ꝛc. Göttingen 1837.)

Nach Gilpin's Beobachtungen beträgt die größte tägliche Variation der Declinationsnadel in London 19′. 6, die kleinste 10′. 2; Cassini's Beobachtungen geben in Paris dieses Maximum mit 15′. 2, das Minimum mit 9′. 1 an. Nach Dove beträgt die mittlere Oscillation der Declinationsnadel zu Freiberg im Monate März 11′ 12″. 8; im Mai 12′ 41″. 6; im Juni 12′ 58″. 8; im August 12′ 21″. 2; im September 11′ 25″. 8; im November 8′ 37″. 8; im December 3′ 49″. 8. Nach dreißigjährigen Beobachtungen in Stockholm hat sich die Abweichung vom Jahre 1786 an, wo sie 15° 37′ W. war, bis zum Jahre 1808, wo sie 16° 20′ betrug, um 43′ also jährlich um 2′ geändert. In Peking ist die Abweichungsnadel von December 1831 bis Mai 1832 um 12′ nach West gegangen.

308. Auch die magnetische Neigung ist nicht allenthalben von gleicher Art und Größe. An einigen Theilen der Erde (ganz Europa gehört dahin) senkt sich der Nordpol der Magnetnadel unter den Horizont, an anderen der Südpol, d. h. an einigen Orten herrscht eine nördliche, an anderen eine südliche Neigung; es sind aber auch Stellen der Erde, wo es gar keine Neigung gibt. Die Linie, welche durch diese Stellen geht, heißt der magnetische Aequator der Erde. Die Gestalt desselben ist eine Curve von doppelter Krümmung, mit vielen, zum Theil unregelmäßigen Biegungen, besonders da, wo sie durch Continente geht; er schneidet den astronomischen Aequator in zwei Stellen und kommt ihm an anderen sehr nahe. Indessen ist weder seine Lage, noch seine Gestalt unveränderlich, sondern er rückt jährlich um ein kleines Stück von Ost nach West, und zwar nicht ganz parallel mit dem Erdäquator, fort. Die Linien, welche durch Orte von gleicher Neigung gehen, heißen isoclinische. Diese sind nicht etwa dem magnetischen Aequator (der isoclinischen Linie von 0°) parallel, doch nähern sie sich nach Erman mehr dem Parallelismus als die isogonischen, sind sämmtlich geschlossen und von doppelter Krümmung. Je mehr man sich vom magnetischen Aequator gegen Norden entfernt, desto größer wird die nördliche, und je weiter man ihn gegen Süden verläßt, desto größer wird die südliche Neigung. So wie die Abweichung, unterliegt auch die magnetische Neigung beständigen Veränderungen; doch hält es schwer, dieselben genau zu bestimmen, und man ist hierin noch bei weitem nicht so weit als mit der Abweichung. Nach Kupffer hat die magnetische Neigung zu Petersburg um 10 Uhr

Abends ihr Minimum, um 10 Uhr Morgens ihr Maximum, doch ist die Stunde des Maximum beständiger als jene des Minimum. Die tägliche Variation ist im Sommer größer als im Winter. Der Unterschied ist im Mai am größten, im December am kleinsten. Gegenwärtig nimmt die magnetische Neigung in Europa ab. Nach Hansteen betrug im Jahre 1780 im mittleren Europa die jährliche Abnahme derselben 5′—6′, sank bis zum Jahre 1830 auf 3′ herab, und wird wahrscheinlich noch vor dem Schlusse dieses Jahrhunderts den kleinsten Werth erreichen. Auch plötzliche Aenderungen in der magnetischen Neigung sind schon öfters beobachtet worden. (Pogg. Ann. 21. 361; 25. 193; 31. 191, 199.) Hier folgen einige Neigungswerthe (+ bedeutet nördliche, — südliche Neigung).

Sitka 1833	= 71° 35′.5	Freiberg 1830	= 67° 21′.5
Nutka 1793	= 73° 56′	Rom 1830	= 62°
Petropaulowsk 1829	= 63° 54′.5	Marseille 1798	= 65° 40′.4
Archangelsk 1830	= 73° 57′.5	Madrid 1798	= 68° 6
Petersburg 1830	= 71° 8′.9	St. Helena 1824	= — 14° 56′.6
Stockholm 1830	= 71° 45′.0	Cap der guten Hoffnung 1792	= — 47° 25′
Christiania 1830	= 72° 9′.8	Otaheiti 1830	= — 30° 29′.5
Göttingen 1824	= 69° 9	Isle de France 1824	= — 53° 51′.2
London 1830	= 68° 37′.5	Rio-Janeiro 1830	= — 13° 38′.9
Brüssel 1830	= 68° 52′.6	Valparaiso 1829	= — 40° 20
Paris 1830	= 67° 41′.3	Lima 1823	= — 8° [illegible]′.3
Genf 1830	= 65° 31′.2		
Mailand 1830	= 64° 15′.9		

309. Die Intensität des Erdmagnetismus ist keineswegs allerorts gleich, sondern im Allgemeinen in der Regel desto größer, je größer die geographische Breite eines Ortes ist; Linien, welche Orte von gleicher magnetischer Kraft mit einander verbinden, heißen isodynamische. Diese Linien sind geschlossen, aber weder mit dem geographischen, noch mit dem magnetischen Aequator der Erde, noch unter sich parallel, wie Fig. 313 zeigt. Daraus ersieht man, daß es in jeder Halbkugel zwei magnetische Pole gibt, daß aber der westliche (in Nordamerika) eine viel größere Intensität besitzt als der östliche (in Sibirien), so wie überhaupt die magnetische Intensität im Ganzen auf der nördlichen Halbkugel größer ist als auf der südlichen. Das absolute Minimum scheint im südlichen Afrika, etwa 20° s. Br., das absolute Maximum in der Hudsonsbay zu liegen; jenes ist kaum größer als 0.8 (nach Erman 0.75), dieses wahrscheinlich höher als 1.8, so daß sich demnach die beiden Extreme wie 4 : 9 verhalten. Merkwürdig ist es, daß die mittlere Wärme bewiesener Maßen in der Nähe von drei Magnetpolen weit geringer ist als an anderen Orten. Es ist kaum zu zweifeln, daß auch diese Kraft Aenderungen unterliege, doch hat man sie bis jetzt, der großen Schwierigkeiten der Aufgabe wegen, nicht mit genügender Genauigkeit messen können. Aus Kupffers Beobachtungen folgt, daß der Erdmagnetismus abnimmt, wenn sich der Mond der Erde nähert; auch fand dieser Gelehrte, daß wenigstens in Petersburg der Erdmagnetismus des Morgens größer sey als Abends,

und von September bis April zu wachsen, von da bis September zuzunehmen scheine. Uebrigens darf man nicht vergessen, daß man von Aenderungen des horizontalen und verticalen Theiles des Erdmagnetismus noch nicht auf Aenderungen der ganzen Erdkraft schließen dürfe, weil erstere auch von Variationen der Neigung abhängen können. (Pogg. Ann. 21. 153; 3. 361; 6. 309; 9. 49. Zeitschr. 2. 212; 8. 219 und 221. Schuhmacher's astron. Nachrichten 9. 303, Pogg. 28. 241.)

310. Von großer Wichtigkeit ist für den Physiker die Frage, wie man sich den Magnetismus der Erde zu denken habe, um sowohl das Beständige als das Veränderliche der magnetischen Phänomene begreifen zu können. Es ist klar, daß die Erde ihren Magnetismus weder ihrer Stellung im Weltraume, noch ihrem Eisengehalte verdanke; denn in beiden Fällen wäre dieser Magnetismus nicht ein selbstständiger, und die Wärme müßte ihn erhöhen, während sie doch der Erfahrung zu Folge auf denselben schwächend einwirkt. Auch dem magnetischen Einflusse der Sonne kann die Erde diese ihre Kraft nicht verdanken; denn wäre dieses der Fall, so müßte der nördliche Magnetismus in der nördlichen, und der südliche in der südlichen Halbkugel nach Aufgang der Sonne wachsen, und in jener die Abweichungsnadel Morgens gegen Osten, Abends gegen Westen gehen, welchem die Erfahrung widerspricht. Demnach ist der Magnetismus der Erde ein selbstständiger, und wird ohne Zweifel, wie die Folge lehren wird, durch electrische Ströme bedingt. Einige Physiker haben es versucht, den Magnetismus der Erde auf Magnetaxen zu reduciren, und dabei gefunden, daß man zur Erklärung der magnetischen Phänomene zwei solche Axen im Inneren der Erde annehmen müsse, die sich durchkreuzen und deren Bewegungen die Variationen, welche die Erfahrung am Erdmagnetismus nachweiset, begründen müssen. Es ist aber noch eine andere, und wie es wenigstens vor der Hand scheint, naturgemäßere Vorstellungsart möglich. Man kann sich nämlich den Magnetismus in der Erdrinde denken, annehmen, daß in der nördlichen Erdhälfte nördlicher, in der südlichen südlicher Magnetismus vorherrsche und seine Stärke vom Aequator gegen die Pole zunehme, jedoch nicht in beiden Erdhälften gleichförmig, sondern auf der südlichen Halbkugel anders als auf der nördlichen. Die Vertheilung dieser Kraft muß natürlich durch die erwärmende Kraft der Sonne beständigen Variationen unterliegen, die eben so periodisch wiederkehren, wie jene Einwirkung der Sonne. Die Rechnung zeigt, daß nur kleine Aenderungen der Wärme erforderlich sind, um die großen magnetischen Veränderungen hervorzubringen, welche die Erfahrung nachweiset. Demnach wären die Aenderungen des Magnetismus der Erde an die Vertheilung der Wärme in ihrer Rinde gebunden; die täglichen Variationen würden durch die tägliche Ab- und Zunahme der Wärme, die jährlichen durch kleine periodische Aenderungen in der mittleren Jahreswärme, die Lage und Gestalt des magnetischen Aequators der Erde in dem Gesetze der Vertheilung der Wärme in beiden Erdhälften, die Gestalt, die Beschaffenheit und Größe der Abweichung durch das Gesetz der Wärme-

vertheilung überhaupt der Lage nach bestimmt. (Moser in Pogg. Ann. 28. 273; 34, 63. Dove's Repertorium der Physik. 2. 238.)

Halley hat vier magnetische Pole in der Erde angenommen, Euler zwei; allein da das Gesetz, nach welchem die angenommenen Pole auf einen Magnet wirken, nicht bekannt war, so konnte man damals die Richtigkeit dieser Annahme und ihre Uebereinstimmung mit der Erfahrung nicht durch Rechnung prüfen. Mayer war der erste, der, auf Rechnung gestützt, die Polarität der Magnete aus einem im Innern der Erde angenommenen Magnete herleitete. Biot erklärte die Abweichung und Neigung der Magnete aus kleinen, hie und da zerstreuten Magneten in der Erde; Steinhäuser aus der Bewegung eines in der Erde befindlichen, kleinen magnetischen Planeten; Hansteen kehrte wieder zur Annahme zweier Magnete von verschiedener Stärke zurück, die cylindrisch sind, sich im Innern der Erde schneiden und ihre Pole tief unter der Oberfläche der Erde haben. Der eine Nordpol soll im nordwestlichen Amerika, der andere im nordöstlichen Sibirien, ein Südpol unter Neuholland, der andere unter dem Feuerlande liegen. Um die Variationen der Abweichung, Neigung und Intensität zu erklären, ertheilt er den Polen dieser Magnete eine Bewegung, und zwar läßt er die beiden Magnetpole der nördlichen Halbkugel sich nach Osten, die in der südlichen nach Westen bewegen. — Die Variationen der magnetischen Neigung erklärt man durch die Annahme, die Linie ohne Neigung rücke von Ost nach West fort und lege in einem Jahre 13$^1/_3$' zurück. Wenn bei dieser Bewegung die Linie ohne Neigung einem Orte näher kommt, so wird die Neigung daselbst vermindert, wenn sie sich von ihm entfernt, vergrößert. Kupffer sucht auch die Variationen der Abweichung aus der Bewegung der Linien ohne Abweichung zu erklären. So wie sich eine solche Linie einem Orte nähert, nimmt daselbst die Abweichung ab und umgekehrt. Da es mehrere solche Linien ohne Abweichung gibt, so wird sich einem Orte die eine nähern, die andere aber davon entfernen, und die Abweichung kann sich darum nur bis zu einer bestimmten Größe ändern. Es ist klar, daß diese Bewegungen mit denen der magnetischen Erdpole in unmittelbarer Verbindung stehen. Foster und Barlow erklären auch die täglichen magnetischen Variationen aus der Annahme, daß die magnetische Axe der Erde um ihren mittleren Ort täglich einen Kreis beschreibe, dessen Halbmesser 2'—3' im Bogen beträgt. (Zeitschr. 1. 64, 3. 82, 325 und 332. Berzelius Jahresbericht 1827. S. 51. — Hansteen's Untersuchungen über den Magnetismus der Erde. Christiania 1819. Gilb. Ann. 29. 1. und 251.)

Vierter Abschnitt.

Electricität.

Erstes Kapitel.

Electrische Erscheinungen und Quellen der Electricität überhaupt.

311. Gleichwie Eisen durch eine gewisse Behandlungsweise die Kraft erlangt, anderes Eisen anzuziehen, eben so kann jeder Körper, wenn er einer gewissen Behandlung unterworfen wird, die Kraft erhalten, andere kleine Körperchen schon von einiger Entfernung her anzuziehen. Diese Anziehung unterscheidet sich aber von der magnetischen wesentlich dadurch, daß sie, sobald die betreffenden Körper sich berührt haben, in eine Abstoßung übergeht. In diesem Zustande heißen Körper electrisch, und die sich so äußernde Kraft führt den Namen Electricität. Am leichtesten zeigt sie sich, wenn man eine Glas- oder Harzstange mit einem wollenen Lappen reibt und derselben kleine Papierschnitzchen nahe bringt. Zuerst hat man sie am Bernstein (electrum) hervorgebracht und ihr darum obigen Namen gegeben. Anziehung und Abstoßung sind aber nicht die einzigen Symptome des electrischen Zustandes, sondern es äußert sich derselbe oft auch durch einen vom electrischen Körper ausgehenden Lichtschein und durch Entwicklung eines eigenthümlichen, dem des brennenden Phosphors ähnlichen Geruches. Die Anziehung und Abstoßung zwischen den feinen Härchen des Gesichtes in der Nähe eines electrischen Körpers erregen daselbst eine Empfindung, als wäre man in ein Spinngewebe gerathen.

Die electrische Anziehung und Abstoßung erhält man methodisch mit einer Metallnadel, die wie eine gewöhnliche Magnetnadel mittelst eines gläsernen Hütchens auf einer feinen Spitze spielt, oder mit einem kleinen an einem Seidenfaden hängenden Kork- oder Hollundermarkkügelchen. Nähert man einer solchen Nadel oder dem genannten Kügelchen einen electrischen Körper, so tritt schon von ferne Anziehung, und, nach erfolgter Berührung zwischen dem anziehenden und angezogenen Körper, Abstoßung ein.

312. Wenn man einen auf Glas ruhenden oder an Seide hängenden Metallkörper mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange berührt, so findet man ihn nach der Berührung selbst electrisch, und zwar nicht bloß an der Berührungsstelle, sondern an der ganzen Oberfläche. Es ist ihm also Electricität mitgetheilt worden. Ver-

fährt man eben so, wenn der Metallkörper statt auf Glas oder Seide gestützt zu seyn, unmittelbar oder mittelst eines anderen Metalles mit dem Boden in Berührung steht, so findet man an ihm nach der Berührung mit dem electrischen Körper keine Spur von Electricität. Es muß also das Glas oder die Seide das Abfließen der Electricität in die Erde verhindert haben. Daß dieses wirklich so sey, geht noch aus einem anderen Versuche hervor: Berührt man nämlich Glas oder Seide mit einem electrischen Körper, so wird es nur an der Berührungsstelle und kaum über diese hinaus electrisch, hat man es aber durch vielfaches Berühren allenthalben electrisch gemacht, und man berührt es hierauf wieder an einer Stelle mit der Hand, so verliert es nur an der berührten Stelle seine Electricität, während eine electrische Metallmasse durch Berührung an einer einzigen Stelle gleich an der ganzen Oberfläche eine Electricitätsverminderung erleidet. Körper, die sich wie das erwähnte Metallstück verhalten, heißen gute Leiter der Electricität; jene hingegen, die dem Glasstücke in ihrem Verhalten ähnlich sind, werde schlechte Leiter genannt. Indessen lassen sich nicht alle vorhandenen Körper in diese zwei Classen bringen; denn der Uebergang von einer in die andere geschieht nur allmälig so, daß einige Körper nicht zu den schlechten und nicht zu den guten Leitern gezählt werden können. Diese heißt man Halbleiter. Zu den guten Leitern gehören: Alle Metalle, gut gebrannte Kohle, Erze, lebende Vegetabilien und Thiere, feuchte Erde, die meisten Salze, viele Flüssigkeiten, Dünste und Säuren 2c. Schlechte Leiter sind: Alle Harze, Glas, Seide, Haare und Federn, alle durchsichtigen Edelsteine, trockene Metalloxyde, trockene Gase, durch Druck tropfbar gemachtes Cyan und Chlor. (Zeitsch. 10. 124.) Zu den Halbleitern gehören: Alabaster, Marmor, die meisten Erden und Steine. Die Leitungsfähigkeit hängt von verschiedenen Umständen ab. Soll ein Körper seine Electricität behalten, so muß er isolirt, d. h. mit Nichtleitern umgeben werden. Isolirende, d. h. schlecht leitende Körper heißen oft auch Isolatoren.

313. Wenn man einer beweglichen isolirten Metallnadel die Electricität einer geriebenen Glasstange mittheilt, so wird sie von jeder anderen geriebenen Glasstange abgestoßen, von einer geriebenen Siegellackstange hingegen angezogen. Eben so wird eine Nadel, welcher man die Electricität einer geriebenen Siegellackstange mitgetheilt hat, von derselben abgestoßen, von einer geriebenen Glasstange hingegen angezogen. Es ist demnach die durch Reiben des Glases erregte Electricität von der durch Reiben des Harzes erzeugten verschieden. Bringt man innerhalb eines Glassturzes zwei Goldblättchen a und b (Fig. 314) an, deren jedes mit einem nach außen gehenden Metallstift leitend verbunden ist, und electrisirt ein Plättchen durch eine geriebene Glasstange, das andere durch eine geriebene Siegellackstange, so ziehen sie sich an, und zeigen sich, nachdem sie sich berührt haben, vorausgesetzt, daß man in der relativen Stärke der beiden Electricitäten das rechte Maß getroffen hat, ganz ohne Electricität. Hat man

die Electricitäten nicht im rechten Maße angewendet, so erscheinen beide Plättchen, nachdem sie sich berührt haben, mit der im Uebermaße vorhandenen Electricität. Es können sich demnach die durch Reiben des Glases erregte Electricität und die durch Reiben des Harzes erzeugte gegenseitig ganz oder zum Theil aufheben wie entgegengesetzte Größen. Weil man anfangs glaubte, diese Electricitäten kommen dem Glase und Harze ausschließend zu, so nannte man auch die eine Glaselectricität, die andere Harzelectricität; allein, weil sie nicht allein im Glas und Harz, sondern in jedem anderen Körper erzeugt werden, ja sowohl die eine als die andere im Glas oder Harz erregt werden kann, endlich weil sich diese Electricitäten wirklich wie entgegengesetzte Größen in der Mathematik verhalten; so verfährt man zweckmäßiger, wenn man die eine positive (+ E), die andere negative (— E) nennt. Es ist zwar gleichgültig, welche diesen oder jenen Namen bekommt, aber gewöhnlich nennt man die durch Reiben des polirten Glases mit Leder oder Tuch erzeugte die positive, mithin die andere die negative. Aus obigem Verhalten der auf gleiche oder auf verschiedene Weise electrisirten Körper folgt das Fundamentalgesetz, daß gleichnamig electrisirte Körper sich abstoßen, ungleichnamig electrisirte hingegen sich anziehen.

Diese von du Fay entdeckte Verschiedenheit der electrischen Zustände läßt sich recht augenscheinlich darstellen, wenn man einen glatten Harzkuchen an einer Stelle mit einem electrisirten Glase, an einer anderen mit electrisirtem Harze berührt, und diese Stellen mit feinem Staube bepudert. Dieser stellt sich an den electrischen Stellen zu einer besonderen Figur zusammen, die bei der Electricität vom Glase nach außen strahlig ist, wie Fig. 315 A, bei der vom Harze hingegen mehr punktirt, wie Fig. 315 B zeigt. Man heißt diese Figuren nach ihrem Entdecker, Lichtenberg, Lichtenberg'sche Figuren. *(De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi, auct. I. C. Lichtenberg. Goettingae, 1778.)*

314. Die Electricität kann auf so mannigfaltige Weise erzeugt werden, daß es wahl schwerlich eine Veränderung in der Körperwelt gibt, wobei nicht Electricität erregt wird, wenn man dieses auch nicht immer beabsichtiget. Indeß lassen sich alle diese Erregungsmittel auf folgende zurückführen: Berührung, Druck, Trennung, Reibung, Formänderung, Temperaturänderung, chemische Wirkungen, Einfluß des Magnetismus und die Lebenskraft. Neuestens will man auch am Lichte und an der beim Schall Statt findenden Molecularbewegung eine electrisirende Kraft gefunden haben, doch ist man hierüber noch nicht zur Gewißheit gelangt (Schweigg. J. 52. 76; Pogg. Ann. 43. 187). Welche von diesen Quellen auch wirksam seyn mag, so treten doch immer beide Electricitäten, die positive und negative zugleich in einem solchen Verhältnisse auf, daß sie sich gegenseitig aufheben können, auch ist es möglich, wenn man ihrem Abfließen durch schlechte Leiter vorbeugt, beide zu sammeln. Oft leitet man aber absichtlich eine der beiden Electricitä-

ten in die Erde ab, um sich desto ungestörter mit der anderen befassen zu können. Wir werden in der Folge jede dieser Quellen näher kennen lernen.

315. Die Electricität kann sich im Zustande des Gleichgewichtes oder im Zustande der Bewegung befinden. Erstere begründet die electrische Spannung, letztere den electrischen Strom. Jeder dieser Zustände gibt sich durch eigene Wirkungen kund, von denen wir eigentlich auf das Daseyn der Electricität überhaupt und des Zustandes derselben insbesondere einen Schluß machen. Nicht jedes der vorhin aufgezählten Mittel, Electricität zu erregen, kann dieselbe in beiden genannten Zuständen liefern, und wo dieses der Fall ist, da sind doch fast immer die Verhältnisse dem einen Zustande günstiger als dem anderen, und darauf muß man immer bei der Wahl der Mittel, Electricität zu erregen, Rücksicht nehmen.

316. Als Grundursache der electrischen Erscheinungen nimmt man fast allgemein eine eigenthümliche, unwägbare (ätherische) ausdehnsame Flüssigkeit an, welche electrische Materie genannt wird. Einige (die Unitarier), an deren Spitze Aepinus und Franklin stehen, betrachten diese Materie als einfach, und nehmen an, daß der natürliche Zustand der Körper in einem Gleichgewichte derselben bestehe, während sie den Zustand der positiven Electricität als Folge ihrer unnatürlichen Anhäufung, den der negativen als Folge ihres Abganges ansehen. Andere (die Dualisten) sind hingegen der Meinung des Robert Symmer, welcher behauptet, die electrische Materie sey aus zwei Materien, $+E$ und $-E$ genannt, zusammengesetzt, die sich gegenseitig anziehen, und mit einander im gehörigen Verhältnisse verbunden, den natürlichen Zustand der Körper begründen, während ein Körper positiv electrisch erscheint, wenn er $+E$, negativ electrisch, wenn er $-E$ vorwaltend enthält. Nach dieser Ansicht verhält sich das electrische Fluidum wie das magnetische, unterscheidet sich aber darin wesentlich von demselben, daß es in allen Körpern zersetzt werden und sich nicht bloß im Innern derselben mit mehr oder weniger Leichtigkeit bewegen, sondern auch von einem in den anderen übergehen kann. Schlechte Leiter widerstehen seiner Bewegung mit einer gewissen Kraft, gute Leiter hingegen gestatten diese Bewegung ohne großen Widerstand. — Nach der Ansicht der Unitarier wird bei jedem Acte der Electrisirung das electrische Fluidum in einem Körper angehäuft, und dadurch derselbe positiv electrisch, während der andere Körper, der jenes Fluidum lieferte, negativ electrisch wird. Nach der Ansicht der Dualisten geht jede Electrisirung gleichsam durch eine doppelte Wahlverwandtschaft vor sich. Das electrische Fluidum der dabei eine Rolle spielenden Körper wird zersetzt, und einer nimmt den positiven, der andere den negativen Theil davon auf. Welche von diesen beiden Ansichten die richtigere sey, ist schwer zu entscheiden. Fast alle Phänomene lassen sich nach beiden gleich gut erklären. Es ist aber noch eine andere, und, wie es scheint, der Wahrheit näher kommende Vorstellungsweise möglich, von der in der Folge die Rede seyn soll. Uebrigens sind unsere

Kenntnisse im Gebiete der Electricität noch nicht umfassend und vollständig genug, um schon jetzt die Frage über das Wesen dieser Naturkraft auch nur mit einiger Hoffnung eines günstigen Erfolges behandeln zu können. Darum soll es sich in dem Folgenden hauptsächlich um die Gesetze der electrischen Erscheinungen und ihren Zusammenhang handeln, in der Ueberzeugung, daß dadurch der Frage über die Natur des electrischen Princips am besten an die Hand gearbeitet wird.

Zweites Kapitel.

Reibungselectricität, Electrisirmaschine und Electroskope.

317. Es ist vorhin gesagt worden, daß nicht jedes Mittel, Electricität zu erregen, gleich geeignet sey, electrische Spannung oder einen electrischen Strom zu erzeugen. Im Gleichgewicht befindliche Electricität (electrische Spannung) wird am leichtesten und besten durch Reiben zweier Körper, und zwar eines guten Leiters mit einem schlechten gewonnen. Da erhält jeder derselben einen eigenen electrischen Zustand, und zwar einer den positiven, der andere den negativen. Um viel Electricität zu erhalten, muß die Wahl der sich reibenden Körper zweckmäßig getroffen und das Reiben selbst stark und anhaltend seyn. Zu dessen Ende bedient man sich einer eigenen mechanischen Vorrichtung, der Electrisirmaschine, die überdieß noch den Vortheil gewährt, durch einen eigens dazu bestimmten Bestandtheil die gewonnene Electricität anzusammeln. Die Electrisirmaschine besteht aus einem Körper, der gerieben wird, aus einem anderen, der zum Reiben desselben dient, und aus einem besonderen Theile zum Auffangen der erregten Electricität. Der zu reibende Körper wird so eingerichtet, daß man ihn um eine feste Axe drehen kann, und hat deßhalb die Form einer Scheibe oder eines Cylinders, oft sogar, jedoch minder gut, jene einer Kugel oder einer Glocke. Der Körper, welcher gerieben wird, das Reibzeug, wird mittelst Federn an jenen angedrückt. Die entwickelte Electricität wird in einem eigenen, gut leitenden, wohl abgerundeten und isolirten Körper, dem Conductor, gesammelt.

Der geriebene Körper besteht meistens aus Glas, wiewohl er an älteren Maschinen auch aus Porcellan, Schwefel, Seidenzeug, Holz rc. angefertigt wurde; er hat meistens die Gestalt einer Scheibe, weil sich diese an das Reibzeug am besten anlegt und demselben auch die größte Fläche darbietet. Das Reibzeug ist ein ledernes Kissen, welches mit einem Amalgam überstrichen wird, das am besten aus 1 Th. Zinn, 1 Th. Zink und 2 Th. Quecksilber besteht, und das Kienmayer'sche Amalgam heißt; doch soll auch Musivgold (Schwefelzinn) oder geschabter Graphit eine gute Wirkung thun. Meistens besteht das Kissen ganz aus Leder oder ist mit Haaren oder gar mit Metallspänen ausgestopft; manche ziehen es aber vor, das Reibzeug gerade nur aus einem Bretchen bestehen zu lassen, das mit glattem weichen Leder überzogen ist. Solcher Reibzeuge braucht man bei einer Scheibenmaschine vier; sie werden mit zwei- oder mehrfachen Flügeln aus Wachs-

taffet versehen, die sich an das Glas anlegen und es bis zu der Stelle bedecken, wo die Electricität an den Conductor abgegeben wird. Soll im Glase viel Electricität frei werden, so muß man die des Reibzeuges in die Erde ableiten, damit sie nicht jene des Glases durch ihre Anziehungskraft binde; darum werden auch die Reibzeuge leitend mit der Erde verbunden. Es ist aber gut, sie auch zum Isoliren einzurichten, damit man auch aus ihnen die E sammeln, und so an einer Maschine beide E erhalten kann. Der Conductor wird aus Messingblech oder aus Packfong verfertiget, er kann aber auch aus Holz bestehen, das mit Zinnfolie überzogen ist. Fig. 316 stellt eine Scheibenmaschine vor, in welcher A die Scheibe, B das Reibzeug, C der Conductor ist. (Gren's Journ. 4. 3. Bohnenberger's Beschreibung einiger Electrisirmaschinen. Stuttgart, 1783.)

318. Die Kraft einer Electrisirmaschine hängt ab von den Dimensionen, der Härte und Glätte des geriebenen Körpers, von dem gleichförmigen, an keiner Stelle unterbrochenen Anschließen der Reibzeuge an den geriebenen Körper und von ihrer gehörigen Größe, von der Güte des Amalgams und seiner gleichförmigen Vertheilung, von der Dicke und isolirenden Kraft der Taffetflügel an den Reibzeugen, von der gehörigen Größe und Abrundung des Conductors, und endlich von der gehörigen Isolirung aller Theile, welche die Electricität aufzunehmen bestimmt sind.

319. An einer guten Electrisirmaschine lassen sich die vorhin erwähnten Erscheinungen, welche sich auf das Daseyn der Electricität, das Verhalten guter und schlechter Leiter derselben, die Verschiedenheit der positiven und negativen Electricität, und ihr gleichzeitiges Auftreten beziehen, leicht und sehr augenscheinlich hervorbringen. So wie man die Scheibe dreht, geht die Electricität von ihr in den Conductor über, und sammelt sich in demselben an. Bringt man einen leichten Körper in dessen Nähe, so wird er erst angezogen, und sobald er den Conductor berührt hat, wieder abgestoßen. Diese Anziehung herrscht rings um den Conductor in einer oft sehr bedeutenden Entfernung. Man nennt den Raum, innerhalb welchem sie Statt hat, electrische Atmosphäre. Nähert man dem Conductor einen guten Leiter, z. B. den Knöchel eines Fingers, so geht ein Funke in denselben über, steht der Mensch dabei auf einem isolirten Stuhle (Isolirschemmel), so sammelt sich die Electricität in ihm, und man kann ihm, wie vorhin dem Conductor, an jedem Theile des Körpers Funken entziehen; seine Haare, die ebenfalls Electricität angenommen haben, sträuben sich, und gehen büschelförmig aus einander. Isolirt man das Reibzeug, so kann man von diesem eben so wie vorhin von der Scheibe, Electricität erhalten, doch ist sie jener des Conductors entgegengesetzt. Verbindet man Reibzeug und Conductor mit einander, so zeigt sich keine Spur einer frei gew rdenen Electricität, so stark und rasch man auch die Scheibe drehen, und so wirksam die Maschine auch sonst seyn mag. In diesem Falle stellt sich am Conductor und Reibzeug ein electrischer Strom her, dessen Phänomene von jenen der Spannung, von welchen so eben die Rede war, ganz verschieden sind.

Auf den Erscheinungen der electrischen Anziehung an einer Electrisirmaschine beruhen eine Menge electrischer Spielwerke, z. B. die electrische Spinne, der elect. Tanz, das elect. Glockenspiel, der elect. Hagel, das elect. Vogelnest ꝛc.

320. Die electrische Spannung äußert sich durch Anziehung und Abstoßung, diese aber erkennt man mittelst eigener Instrumente, die Electroskope genannt werden. Es gibt deren eine große Anzahl, aus der aber nur das Kugelelectroskop, das Bennet'sche, Volta'sche und Henley'sche hervorgehoben werden soll. Das Kugelelectroskop zeigt Fig. 317. Es besteht aus zwei an feinen isolirenden Fäden hängenden Kork- oder Hollundermarkkügelchen, die sich im natürlichen Zustande berühren, im electrischen aber desto mehr von einander divergiren, je mehr sie electrisirt sind. Das Bennet'sche Electroskop (Fig. 318) hat statt der Kugeln feine Goldplättchen, die von einem gemeinschaftlichen Stiel ausgehen, und zur Abhaltung des Luftzuges in ein Glasgefäß eingeschlossen sind, das einen leitenden Boden hat, und seitwärts mit Streifchen Zinnfolie belegt ist, um die Electricität der Blättchen, wenn sie bis zum Anschlagen divergiren, aufnehmen und ableiten zu können. Volta's Electroskop hat statt der Goldblättchen feine Strohhalmfasern, und zum Messen ihrer Divergenz einen getheilten Gradbogen. Henley's Electroskop (Fig. 319) besteht aus einem zarten Holzstängelchen, das an einem Ende eine kleine Korkkugel trägt, am anderen aber am Centrum eines getheilten Halbkreises so befestiget ist, daß es im Falle der Electrisirung von der Säule, die das Ganze trägt, in einer mit der Ebene des Gradbogens parallelen Ebene abgestoßen werden, und man den Abstoßungswinkel messen kann. Dieses Instrument wird in der Regel am äußersten Ende des Conductors jeder Electrisirmaschine angebracht, und bildet demnach gleichsam einen Bestandtheil dieses Apparates.

Drittes Kapitel.

Gesetze der Electricität im Gleichgewichte (Electrostatik).

321. Um zur Kenntniß der Gesetze des Gleichgewichtes der E oder der electrischen Spannung zu gelangen, muß man die Menge der E an jedem Punkte des Körpers, in welchem sie sich im Gleichgewichte befindet, ausmitteln können. Diese läßt sich aber nicht unmittelbar, sondern nur aus Wirkungen, die mit ihr in bestimmter Relation stehen, erkennen. Eine solche ist die electrische Anziehung und Abstoßung, und die Bestimmung dieser darum die Basis aller Untersuchungen über die Menge der an einer bestimmten Stelle eines Körpers angehäuften statischen Electricität. Wenn es sich bloß darum handelt, zu erfahren, welche von zwei Electricitätsmengen die größere ist, so braucht man sich nur eines Electroskops zu bedienen, wenn aber das Verhältniß dieser Menge numerisch bestimmt werden soll, so braucht

man ein eigenes electrometrisches Instrument, nämlich die electrische Wage. Diese unterscheidet sich nach Coulomb's Angabe und den von Faraday neuestens angebrachten Verbesserungen von der magnetischen Wage darin, daß sich an der Stelle des an einem feinen elastischen Faden (am besten von Glas) hängenden Metallstabes ein leichter Hebel aus Schellack befindet, der an einem Ende eine vergoldete Kugel oder ein Scheibchen aus Goldpapier, am anderen aber eine zur Aequilibrirung des Stäbchens passende Masse trägt. Im natürlichen Zustande ruht der Schellackhebel in der Verticalebene, wo sich der Nullpunkt der Eintheilung des Glaskastens befindet, und das Papierscheibchen oder die leitende Kugel berührt eine andere auch leitende Kugel, die von außen und oben in den Kasten geschoben und wieder heraus genommen werden, und mittelst welcher man dem Hebel Electricität mittheilen kann. Sowohl oberhalb als unterhalb der Theilung des Glaskastens befindet sich rings um den Kasten ein Streifen von Zinnfolie, beide Streifen sind sowohl unter sich als mit der Erde leitend verbunden, und innerhalb des Kastens ist auf einem Glastischchen geschmolzene Pottasche angebracht, die mit einem Drahtnetze umgeben ist, und die Bestimmung hat, die Luft trocken zu erhalten, und darum auch nur gebraucht wird, wenn diese Trockenheit beabsichtiget ist. Um mit der Drehwage die Größe der electrischen Abstoßung zu messen, theilt man der Kugel der Wage und dadurch der sie berührenden Scheibe des Hebels E mit, worauf diese sich abstoßen. Hierauf führt man den Hebel auf eine bestimmte Stellung zurück, indem man dem Drahte durch Drehung von oben eine Windung nach einer der Abstoßung entgegengesetzten Richtung ertheilt. Will man nun zwei Abstoßungen mit einander bei gleicher Entfernung des Hebels von seiner natürlichen Lage vergleichen; so darf man nur die Torsion des Drahtes, welche nöthig ist, um dem Hebel in beiden Fällen einerlei Stellung zu geben, durch die Größe des Abstoßungswinkels vermehren, und die so erhaltenen Zahlen verhalten sich wie die Repulsionen. Hat man z. B. dem Drahte in einem Falle eine Windung von 70°, im anderen eine Windung von 185° ertheilen müssen, um eine Ablenkung von 10° zu erhalten; so verhalten sich die Repulsionen wie $70 + 10 : 185 + 10 = 80 : 195$. Auf ähnliche Weise verfährt man beim Messen der electrischen Anziehung. Zum Uebertragen der Electricität von einer Stelle eines Körpers in den Hebel oder in die ihm gegenüberstehende Kugel, dient am besten ein Scheibchen aus Goldpapier mit einem Stiele aus Schellack, an dem man es hält. Diese heißt darum auch die Probescheibe.

Zur Kenntniß der Anziehung, mit welcher ein electrischer Körper auf einen anderen nicht electrischen wirkt, führen auch Schwingungsversuche. Man hängt ein leitendes Drahtstück an einem zarten Faden auf, so daß es in horizontaler Lage schwebend bleibt, läßt es zuerst unter dem bloßen Einflusse der Elasticität des Fadens in der horizontalen Ebene schwingen, und zählt die Anzahl der in einer bestimmten Zeit vollbrachten Oscillationen. Hierauf bringt man den electrischen Körper, um den es sich handelt, in die Nähe dieses Drahtes, und wie-

derholt den Schwingungsversuch unter dem Einflusse dieses Körpers. Da ist nun die Differenz der Quadrate beider Schwingungszahlen eine Größe, welche mit der Stärke der electrischen Anziehung in Relation steht.

322. Die abstoßenden und anziehenden Kräfte sind, bei gleichen Entfernungen, den Intensitäten der E direct proportionirt und ihr angemessenster Maßstab. Davon überzeugt man sich, wenn man eine isolirte Kugel electrisirt, sie dann mit der Probescheibe berührt, ihre Electricität in die Coulomb'sche Wage überträgt, und die Größe der Abstoßung bestimmt. Berührt man diese Kugel nachher mit einer zweiten ganz gleichen Kugel, so wird offenbar die Electricität jedes ihrer Punkte auf die Hälfte reducirt; wenn man dann wieder die Größe ihrer abstoßenden Kraft bestimmt, so findet man sie auch nur halb so groß, als im ersteren Falle.

323. Bei ungleichen Entfernungen befolgen die Anziehungen und Abstoßungen ein anderes Gesetz, das man leicht ausmittelt, wenn einmal bekannt ist, in welchem Verhältnisse dieselbe electrische Kraft abnimmt, wenn die Entfernungen in einem gewissen Verhältnisse wachsen. Dieses Gesetz hat Coulomb mit seiner Drehwage ausgemittelt, und Egen hat die Richtigkeit seiner Resultate durch sehr genaue Versuche bestätiget. Es heißt: Die Größe der electrischen Anziehung und Abstoßung steht im verkehrten Verhältnisse der Quadrate der Entfernung der auf einander wirkenden Körper. Zur Ausmittelung dieses Gesetzes hat Coulomb folgenden Versuch angestellt: Er drehte den Hebel mittelst des Drahtes so, daß die Kugel des Hebels die ihm gegenüberstehende ohne Windung des Drahtes berührte, theilte hierauf beiden Kugeln eine geringe Electricität (mittelst des Kopfes einer isolirten Stecknadel) mit, durch welche die Kugel am Hebel um einen Winkel von 36° abgestoßen wurde. Drehte er nun abermals den Draht um 126° gegen die Ordnung der Zahlen am Kreise des Gehäuses, so fand er, daß die Kugel nur mehr um 18° von ihrer natürlichen Stellung abstand. Es verhielt sich daher die Stärke der electrischen Kraft in beiden Abständen wie $36 : 126 + 18 = 36 : 144 = 1 : 4$, die Abstände waren aber im Verhältnisse $2 : 1$. Auf ähnliche Art verfuhr er, um das Gesetz der Anziehung zu finden, welches zwischen Körpern, deren electrische Zustände einander entgegengesetzt sind, Statt findet.

324. Da man bei Versuchen über die Anordnung der E in einem Körper nur einen Punkt nach dem anderen untersuchen kann; so ist klar, daß man zu unrichtigen Folgerungen verleitet würde, wenn in der Zwischenzeit der Körper einen Theil seiner E verloren hätte, und man nicht darauf Rücksicht nähme. Ein solcher Verlust ist aber unvermeidlich, indem auch der auf das beste isolirte Körper theils den isolirenden Stützen, theils der Luft, besonders wenn sie feucht ist, immer etwas von seiner E mittheilt. Man wird also nur dann bei Versuchen über die Anordnung der E in einem Körper zu einem richtigen Resultate gelangen, wenn man im Stande ist, diesen Verlust

in Rechnung zu bringen, welches wieder nur der Fall ist, wenn man das Gesetz, nach welchem er erfolgt, kennt.

325. Um das Gesetz des E Verlustes kennen zu lernen, hat Coulomb den Verlust durch die unvollkommen isolirenden Stützen von dem durch die Luft abgesondert. Er überzeugte sich zuerst davon, daß eine Schellackstange von 1/2 L. Dicke und 18 — 20 L. Länge eine mäßig electrisirte Kugel von Hollundermark, deren Durchmesser 5 — 6 Linien beträgt, vollkommen isolire: denn ihr Electricitätsverlust war gleich, sie mochte durch ein oder durch mehrere solche Stängelchen getragen werden. Wurde daher eine Schellackstange, wie die angegebene, als Hebel einer Wage gebraucht, und die genannte Hollundermarkkugel dem Hebel gegenüber gesetzt; so konnte man gewiß seyn, daß der Electricitätsverlust, den sie erleidet, bloß auf Rechnung der Luft komme. Coulomb fand, daß dieser Verlust in einerlei Zeit und bei einerlei Feuchtigkeitszustand der Luft stets der Intensität der E proportionirt, übrigens aber vom Leitungsvermögen des electrischen Körpers, und bei einer geringen electrischen Spannung, auch von der Gestalt dieses Körpers unabhängig sey. Da man nun den E Verlust einer Kugel kannte, die mittelst einer Schellackstange vollkommen isolirt war, und daher bloß der Luft E abgeben konnte; so brauchte man nur den Verlust desselben Körpers zu beobachten, wenn er von einer Glasstange getragen oder an einem Seidenfaden aufgehängt war, davon den Verlust durch die Luft abzuziehen, um den Verlust durch unvollkommene Isolirung von Seite der Stützen zu erhalten. Auch hier fand man, daß sich die Leitungsfähigkeit eines Körpers unter übrigens gleichen Umständen nach der Intensität der E richte, und so wie diese Intensität abnehme. — Man sieht hieraus, daß für sehr kleine Grade der Electricität fast alle Körper völlige Nichtleiter sind, so daß es gar nichts Ungereimtes wäre, zu behaupten, es befinde sich in allen Körpern, ungeachtet ihrer leitenden Verbindung unter einander, immer ein gewisses Quantum freier Electricität.

Bei einem von Coulomb angestellten Versuche, wo der Verlust bloß durch die Luft erfolgte, war die abstoßende Kraft der E einer Windung des Drahtes von 270° proportionirt. Nach einer Minute mußte man diese Windung um 6° vermindern, um denselben Abstoßungswinkel zu erhalten, so daß nun die Abstoßung nur einer Windung von 264° entsprach. Die mittlere Electricitätsmenge war nun der Größe $\frac{270 + 264}{2} = 267^\circ$ proportionirt, und von dieser betrug der 6° entsprechende Verlust $\frac{6}{267} = \frac{1}{44.5}$. Nach Coulomb beträgt bei trockener Luft dieser Verlust in 1 M. in der Regel $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$, bei feuchter Luft steigt er oft auf $\frac{1}{20}$ der mittleren Spannung.

326. Wenn einem leitenden Körper E mitgetheilt wird, so sammelt sich diese ganz auf seiner Oberfläche und bildet daselbst eine dünne Schichte. Davon überzeugt man sich durch viele Versuche. Deckt man die Oberfläche einer Kugel mit zwei halbkugelförmigen, mit isolirten Handgriffen versehenen Schalen, und theilt ihr dann E mit;

so findet man sie nach Wegnahme dieser Schalen ganz ohne E, zum Beweise, daß die E in den Schalen, mithin an der Oberfläche, ihren Sitz hat. Electrisirt man eine mit einem Loche versehene Kugel, so zeigt eine in dieses Loch gesenkte Probescheibe, nachdem man sie sorgfältig, ohne Berührung der Ränder herausgenommen hat, keine Spur von E. Die Wirkungen der an der Oberfläche eines Körpers angehäuften Electricität richten sich nicht bloß nach der absoluten Electricitätsmenge, sondern auch nach dem Verhältnisse derselben zur betreffenden Oberfläche, d. h. nach der Dichte der Electricität. Letztere, nicht erstere bestimmt eigentlich die Größe der electrischen Spannung (Tension, Intensität).

327. Die Electricität ordnet sich auf der Oberfläche eines Körpers immer so an, daß die Wirkungen der einzelnen Elemente der Oberfläche auf einen Punkt im Innern der Masse des Körpers sich gegenseitig aufheben. Dieses Gesetz gibt die Grundlage der Rechnungen über die Anordnung der E in leitenden Körpern ab, und führt zu Resultaten, welche durch die Erfahrung auf das Genaueste bestätigt werden. Versuche lehren z. B., daß die E auf einer Kugel nach allen Seiten eine gleich dichte Schichte bilde, und obiges Gesetz führt zu demselben Resultate, wie man sich leicht auf folgende Weise überzeugen kann. Es sey Fig. 320 ein größter Kreis einer Kugel, in welchem zwei, unter einem kleinen Winkel sich schneidende Sehnen ab und de gezogen sind. Man denke sich mit dem Durchmesser ad und be auf der Oberfläche der Kugel Kreise beschrieben, und untersuche die Dichte der daselbst angehäuften E unter obiger Bedingung. Es sey die Dichte der Electricitätsschichte in ad gleich I, die in be gleich i, und daher $I . ad^2$ und $i . be^2$ die daselbst angehäuften Electricitätsmengen; die Wirkung auf c von Seite der ersteren muß gleich $\frac{I . ad^2}{ac^2}$, und von Seite der letzteren gleich $\frac{i . be^2}{bc^2}$ seyn, und man hat $\frac{I . ad^2}{ac^2} = \frac{i . be^2}{bc^2}$. Allein es ist $\frac{ad}{ac} = \frac{be}{bc}$, mithin auch $I = i$. An einem elliptischen Körper verhält es sich anders. Da hat die E an den mehr gekrümmten Stellen eine größere Dichte als an den minder gekrümmten, so zwar, daß, wenn eine Axe des Ellipsoides etwa zehnmal größer ist, als die andere, die E an den Endpunkten jener 100 mal dichter ist als an den Endpunkten dieser. An zugespitzten Körpern ist der Unterschied der Dichte der E gar groß, ja die Rechnung zeigt, daß die Dichte an einer Spitze unendliche Male größer sey, als an den flachen oder abgerundeten Stellen desselben Körpers, so daß man daraus recht wohl begreift, warum die E an den Spitzen stets im Stande sey, die schlecht leitende Luft zu durchbrechen und daselbst abzufließen, und auch, warum die E durch Spitzen so leicht aufgenommen werde. Werden zwei sich berührende Kugeln von ungleicher Größe electrisirt; so erhält ihre Berührungsstelle gar keine Electricität, in einiger Entfernung davon beginnt diese merklich zu werden, wächst aber bei der kleineren Kugel schneller als bei der größeren, und

der Berührungsstelle entgegengesetzt erhält die kleinere mehr Electricität als die größere. Hebt man die Berührung der Kugeln auf, und entzieht sie ihrem gegenseitigen Einflusse, so vertheilt sich die Electricität auf jeder derselben gleichförmig, doch erscheint sie auf der kleineren in dem Maße stärker als auf der größeren, als ihr Durchmesser kleiner ist, das Verhältniß der Electricitätsintensitäten überschreitet aber nie jenes von 1 : 1.65. Auch diese Vertheilung der Electricität auf beiden Kugeln ist von der Natur und Größe ihrer Masse unabhängig.

328. Untersucht man die Intensität der E eines Körpers an verschiedenen Punkten zu verschiedenen Zeiten, nachdem er entweder durch die Luft oder durch unvollkommene Isolirung einen Theil seiner E verloren hat; so überzeugt man sich, daß das Verhältniß dieser Intensitäten an verschiedenen Punkten stets dasselbe bleibt, die absolute Menge der E mag wie immer ab- oder zugenommen haben. Diese Erfahrung erlaubt die Folgerung, daß durch den Zuwachs einer doppelten oder dreifachen Menge der E auch jedes Element des electrischen Körpers doppelte oder dreifache E bekomme, und daß sich größere und kleinere Electricitätsmengen stets nach demselben Gesetze anordnen und ins Gleichgewicht treten.

Viertes Kapitel.

Inducirte electrische Spannung und darauf beruhende Apparate.

329. Die im Gleichgewichte befindliche Electricität afficirt nahe gebrachte gute Leiter auf eine eigene höchst merkwürdige Weise, indem sie in denselben, ohne in sie überzugehen, Zustände der electrischen Spannung hervorruft, die aber nur so lange dauern, als der electrische Körper in der Nähe ist, mit der Entfernung desselben aber in der Regel wieder verschwinden. Man nennt einen so erzeugten electrischen Zustand einen inducirten, und die ihm vorangehende Einwirkung Induction oder Electrisirung durch Vertheilung. Zu Versuchen hierüber braucht man einen länglichen isolirten Leiter, wie z. B. einen etwa 3 L. dicken, 10—12 Z. langen, an beiden Enden rund gefeilten, mit einem isolirenden, senkrecht daran befestigten Handgriffe versehenen Draht (Fig. 321), der an mehreren Stellen, unter anderen auch an den Enden mittelst Leinenfäden Korkkügelchen trägt, die eben so viele Kugelelectroskope vorstellen. Stellt man diesen dem z. B. mit + E geladenen Conductor einer Electrisirmaschine in verticaler Lage gegenüber, so bemerkt man daran Folgendes: 1) Die am Drahte hängenden Kügelchen stoßen sich ab, und zeigen dadurch, daß der Draht electrisch geworden sey. 2) Die Divergenz dieser Kugeln ist an beiden Enden des Leiters am größten, wird gegen die Mitte zu immer schwächer, und nahe an der Mitte gibt es eine Stelle, wo, wenn sich dort derlei electroskopische Kugeln befinden,

gar keine Divergenz derselben Statt hat. Es ist also der Leiter an den Enden am meisten, in der Mitte weniger, an einer Stelle gar nicht electrisch. 3) Untersucht man die Beschaffenheit dieser E, so findet man, daß das dem Conductor zugekehrte Ende — E, das davon abgewendete + E hat. Es ist daher der Leiter ganz anders electrisirt, als es durch Mittheilung electrisirte Körper zu seyn pflegen, indem hier beide E und zwar in einem guten Leiter zugleich und doch getrennt vorkommen. 4) Zieht man den Leiter vom Conductor zurück, ohne ihn zu berühren, so fallen die Kugeln zusammen, und es ist kein Zeichen eines electrischen Zustandes an demselben mehr bemerklich, zum abermaligen Beweise, daß die hier Statt gehabte Electrisirung von der durch Mittheilung wesentlich verschieden sey. 5) Berührt man den Leiter, während er sich unter dem Einflusse des Conductors befindet, an irgend einer Stelle, wo E herrscht, mit dem Finger, so geht ein Funke in denselben über, der Leiter verliert die E an der zu dieser Stelle gehörigen Hälfte, die mit der anderen entgegengesetzten E behaftete verliert dadurch nicht bloß nichts, sondern ihr E scheint sogar stärker zu seyn als vorher. Letztere E nennt man darum **gebundene** E, im Gegensatze mit der **freien**, die einem dargebotenen Leiter folgen kann. Nimmt man nun nach geschehener Berührung den Leiter aus der Wirkungssphäre des Conductors, so erscheint er durchaus mit — E. Es ist daher diese E frei geworden. 6) Alle diese Phänomene lassen sich so oft hervorbringen, als man will, ohne schwächer zu werden, wenn nur der Conductor gehörig electrisirt ist. Uebrigens verliert derselbe durch solche Versuche nichts von seiner E.

Wenn man dem der inducirenden Wirkung ausgesetzten Körper eine solche Lage gegen den Conductor gibt, daß diese Wirkung senkrecht auf die Electroskope erfolgt, so erhält man die besagten electrischen Erscheinungen nicht so deutlich. Prüft man diese Zustände nicht unmittelbar am Leiter selbst, sondern mittelst Berührung mit einem abgesonderten Electroskope, so können sogar von den aufgezählten abweichende Resultate erhalten werden, die leicht zu unrichtigen Schlüssen über die Inductionsgesetze führen können. (**Pfaff** in Schweigg. J. 61. 391; Pogg. Ann. 44. 332; **Rieß** ebend. 37. 642.)

330. Die inducirende Kraft eines electrischen Körpers wirkt nicht, wie man sonst glaubte, ohne materielles Zwischenmittel in die Ferne, sondern sie afficirt nur die unmittelbar auf einander folgenden materiellen Theile. So z. B. ist in den vorhin benannten Inductionsphänomenen die Luft das Mittel, durch welches der Conductor auf den Leiter wirkt. Stellt man eine Glastafel dazwischen, so ist es zugleich Luft und Glas. Verschiedene feste und tropfbare Isolatoren üben selbst bei einerlei Dicke und derselben Ladung des Conductors eine verschiedene Wirkung aus, und man kann daher jedem derselben eine specifische Vertheilungscapacität zuschreiben, welches wohl nicht seyn könnte, wenn die Induction eine reine Wirkung der E in die Ferne wäre. Verschiedene Körper, Gase ausgenommen, scheinen auch verschiedene Inductionscapacitäten zu besitzen.

Nach Faraday's Versuchen ist, wenn man die Inductionscapacität der atmosphärischen Luft = 1 setzt, jene des Schellacks = 2, des Flintglases = 1.76, des Schwefels = 2.24; Terpentinöhl und Naphta scheinen eine größere Capacität als Luft zu besitzen. Aenderungen der Dichte, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft scheinen ihre Inductionscapacität nicht zu afficiren.

331. Die eben erwähnten Gesetze der Induction geben uns wichtige Aufschlüsse über die Natur des electrischen Princips. Sie lehren, daß jeder Körper dieses Princip, und zwar sowohl das positive als das negative in sich enthalte, und daß die Vereinigung beider den natürlichen Zustand der Körper begründe. So wie sich aber die beiden Principe desselben Körpers gegenseitig binden und sich hindern können, in dargebotene Leiter überzugehen, eben so kann eine von außen einwirkende E auf die entgegengesetzte E eines Körpers wirken, und sie von ihrem natürlichen Bande befreien. Auch über den inneren Verlauf bei der Mittheilung der E geben uns die Inductionsgesetze Aufschluß. Sobald nämlich ein Körper in die electrische Atmosphäre kommt, wird er selbst durch Vertheilung electrisch, und die Anziehung, welche er erfährt, ist das Resultat des Bestrebens der zwei entgegengesetzten Electricitäten, sich zu vereinigen. Je näher er dem anziehenden Körper kommt, desto mehr E wird in ihm durch Vertheilung entwickelt, und desto größer ist das Bestreben der entgegengesetzten E, sich zu vereinigen, bis endlich, bei einer gewissen Entfernung (Schlagweite) beider Körper von einander, die zwei entgegengesetzten Electritäten sich vereinigen und sich gegenseitig neutralisiren, so daß dem durch Vertheilung electrisirten Körper nur mehr jene E übrig bleibt, welche mit der des anderen gleichnamig ist, und daher auf sie abstoßend wirkt. Demnach geht die sogenannte Mittheilung nicht so vor sich, wie etwa Wasser von einem Gefäße in ein anderes überfließt, sondern der gleich anfänglich electrisirte Körper verliert einen Theil seiner freien E durch Neutralisation derselben mittelst der entgegengesetzten E des anderen Körpers, und dadurch wird in diesem eben so viel gleichnamige E frei, und es gibt keine Mittheilung der E ohne vorhergegangene Induction. Auch das Festhalten der E an der Oberfläche der Körper scheint in dem durch Induction erzeugten, entgegengesetzten electrischen Zustande der nächsten Luftschichte, nicht aber im Drucke der Luft, wie sonst einige Physiker behaupteten, seinen Grund zu haben. Daß diese E nicht nothwendig abfließen müsse, wenn der Luftdruck durch Verdünnen oder gänzliches Wegschaffen der Luft vermindert oder gar aufgehoben wird, ist für sich klar.

332. Die meisten Vorrichtungen, welche nebst der Electrisirmaschine und den Electroskopen den gesammten electrischen Apparat ausmachen, beruhen auf der Electrisirung durch Vertheilung. Die wichtigsten derselben sind: Die Franklin'sche Tafel und die Leidnerflasche, die electrische Batterie, der Electrophor und der Condensator.

333. Wenn man eine dünne Glastafel auf beiden Seiten mit Zinn-

plättchen belegt (armirt), so, daß nur ein etwa zwei Finger breiter Rand an beiden Seiten frei bleibt, den man zur Abhaltung der Feuchtigkeit mit einer Auflösung von Siegellack in Weingeist überstreicht, so hat man diejenige Vorrichtung, welche Franklin'sche Tafel genannt wird. Es heiße der Bequemlichkeit der Rede wegen die Belegung auf der einen Seite A, die auf der anderen B, die damit unmittelbar in Berührung stehenden Glasschichten aber a und b. Theilt man der Belegung A eine gewisse Electricität, z. B. + E mit, so wird dadurch auch, weil die leitende Belegung der Electricität sich auszubreiten gestattet, das Glas an allen Punkten, in welchen es mit der Belegung in Berührung steht, bis auf eine gewisse geringe Tiefe, d. h. es wird die Glasschichte a electrisirt. Diese E zersetzt die natürliche Electricität (± E), welche in der gegenüber stehenden Belegung B enthalten ist, sehr leicht, da diese Belegung der Bewegung der entgegengesetzten E kein merkliches Hinderniß in den Weg legt, — E wird angezogen, + E abgestoßen. Erstere, nämlich — E, wird auch dem der Belegung anliegenden Glase b bis auf eine geringe Tiefe mitgetheilt, oder was dasselbe heißt, es wird durch die leitende Belegung die Zersetzung der natürlichen Electricität der Glasfläche b möglich; letztere, nämlich die zurückgestoßene + E, wirkt, so lange B isolirt ist, durch ihre Verwandtschaft zur — E dem von der Fläche A ausgehenden, die Zersetzung anstrebenden Einflusse entgegen; fließt aber, wenn die Fläche B nicht isolirt ist, in den Boden ab, wodurch eine reichlichere Aufnahme sowohl von — E in die Glasschichte b, als auch in Folge dessen von + E in die Glasschichte a möglich wird. Die Tafel heißt in diesem Zustande geladen. Die den Glasflächen a und b beigebrachten entgegengesetzten E binden sich gegenseitig; ihrer Vereinigung steht das Glas als Nichtleiter entgegen. Setzt man aber die Belegungen A und B mit einander in leitende Verbindung, so erfolgt Vereinigung der + E und — E. Man sagt dann, die Tafel werde entladen.

Von dem Abfließen der + E aus B beim Laden der Tafel kann man sich leicht überzeugen, wenn man die Belegung B isolirt und ihr dann einen guten Leiter nähert; denn da sieht man, während die andere Fläche A electrisirt wird, Funken übergehen, mit denen man sogar eine zweite ähnliche Tafel laden kann. Daß bei diesem Verfahren das Glas wirklich geladen werde, und daß man die Belegung nur brauche, um ihm die E auf einer Seite leicht mitzutheilen, auf der anderen sie leicht abzuleiten, lehrt folgender Versuch: Man nehme eine dünne Glastafel, armire sie statt mit Zinnfolie mit Metallplatten, und lade sie. Nimmt man hierauf mittelst isolirender Handgriffe die Platten von der Glastafel weg, und berührt sie mit dem Finger, damit sie die E verlieren; so lehrt die Erfahrung, daß, sobald man diese Platten wieder als Armatur auf die Glastafel gibt, die indeß unberührt geblieben ist, dieselbe geladen erscheine, und zwar nicht bloß an den beiden äußersten Flächen, sondern bis auf eine gewisse, wenn auch geringe Tiefe ins Innere des Glases hinein. Denn wie könnte es sonst kommen, daß eine solche Tafel, nachdem man sie durch einen beide Belegungen leitend verbindenden Körper entladen und ganz ohne E befunden hat, nach einiger Zeit, wenn die Belegungen isolirt ge-

standen, wieder eine Ladung annimmt. Die eine Belegung, welche mit der E Quelle in Verbindung gesetzt wird, hat bloß den Zweck, dem Glase E zuzuführen; sie würde aber wenig E aufnehmen können, wenn nicht ein guter Theil derselben von der entgegengesetzten der anderen Glasfläche gebunden würde. Diese entgegengesetzte würde aber nicht frei werden, wenn nicht jene E, durch welche sie im natürlichen Zustande gebunden war, in den Boden abfließen könnte, und dieses Abfließen vermittelt die zweite Belegung. Man kann statt Glas mit Vortheil eine dünne Tafel von Glimmer oder von jedem anderen schlecht leitenden Körper brauchen.

334. Eine Flasche, die in- und auswendig mit Metall besetzt ist, wie eine Franklin'sche Tafel, bis auf einen schmalen Streifen am oberen Rande, stellt eine Leidnerflasche vor. Gegenwärtig gibt man ihr folgende Einrichtung: Ein dünnes Zuckerglas wird in- und auswendig mit Zinnfolie so belegt, daß nur ein zollbreiter Streifen am Rande beiderseits unbelegt bleibt. Diesen bestreicht man, um die Belegungen gut zu isoliren, mit einem Firniß oder mit Siegellack, stellt einen Metalldraht so hinein, daß er den Boden berührt, ein Paar Zoll über das Gefäß heraussteht, und in einen Knopf endet (Fig. 322). Hält man den Knopf der Flasche an den wohl electrisirten Conductor einer Maschine, während die äußere Belegung in leitender Verbindung mit der Erde steht; so wird die Flasche, wie vorhin die Franklin'sche Tafel, geladen, es erhält die innere Belegung die E des Conductors, z. B. +E, die äußere die entgegengesetzte (—E), und die Intensität beider kann so weit gesteigert werden, als es der Widerstand des Glases gegen das Bestreben der beiden E, sich zu vereinigen, gestattet. Nach Maßgabe der inneren Ladung einer solchen Flasche geht von der äußeren Belegung E weg, und die Menge derselben gibt ein gutes Maß für die Menge der der Flasche zugeführten E, und kann zur Berechnung der Dichte der E benützt werden.

335. Wenn man mehrere Leidnerflaschen oder Franklin'sche Tafeln so mit einander verbindet, daß alle inneren und alle äußeren Belegungen mit einander in leitender Communication stehen, so erhält man eine electrische Batterie (Fig. 323). Es ist klar, daß diese geladen wird, wenn man bloß dem Knopfe einer Flasche E aus dem Conductor der Maschine mittheilt, und daß sie ausgeladen wird, wenn man bloß die innere Belegung einer Flasche mit ihrer äußeren durch einen guten Leiter in Verbindung setzt. Eine Batterie vertritt eigentlich eine große Leidnerflasche, hat aber vor dieser den bedeutenden Vorzug, daß man sie nach Belieben vergrößern und verkleinern kann, indem man neue Flaschen zugibt oder einige von der Communication mit den übrigen ausschließt, endlich wird durch Beschädigung einer Flasche nicht gleich die ganze Batterie unbrauchbar, wie dieses bei einer großen Flasche immer der Fall ist.

Wenn man mehrere Franklin'sche Tafeln oder Leidnerflaschen neben einander stellt, und die eine Belegung der einen mit der anderen Belegung der zunächst folgenden in leitende Verbindung setzt; so wird auch das ganze System der Tafeln oder Flaschen geladen werden, wenn man auch nur der einen Belegung der ersteren E mittheilt; allein die Stärke

der Ladung nimmt vom ersten Elemente angefangen ab, und zwar desto schneller, aus je dickerem Glase diese Elemente gemacht sind. Eine solche Zusammenstellung nennt man eine electrische Säule.

336. Eine geladene Leidnerflasche erscheint immer an der Belegung, der man $+$E mitgetheilt hat, mit positiver E, an der entgegengesetzten mit negativer E, und beide ziehen sich an, binden sich zum Theile, können sich aber wegen der schlechten Leitung des Glases nicht vereinigen. Doch kann ihre Intensität durch Laden so weit gesteigert werden, daß sie sich durch das Glas vereinigen und dasselbe durchbohren. Je dicker das Glas ist, desto schwerer kommt es zu einer solchen Entladung, und es wird selbst die Spannung der beiden Glasflächen bei einerlei Zuleitung der E desto kleiner seyn, je dicker das Glas ist. Berührt man den Kopf einer Flasche mit dem Finger, so geht ein Funke in denselben über, die Spannung der Flasche vermindert sich, ist aber noch nicht ganz aufgehoben. Zu letzterem braucht es mehrere, oft eine sehr große Zahl von derlei Berührungen. So oft man einer Belegung etwas E nimmt, läßt auch die andere einen Theil ihres E fahren. Die Luft bewirkt diese Ausladung mit der Zeit, wenn auch langsam, von selbst. Doch hat man auch besondere Einrichtungen an Flaschen, um ihre Ausladung durch die Luft zu verzögern (Sperrflaschen).

337. Ein äußerst wichtiges Instrument ist der von Wilke erfundene und von Volta verbesserte Electrophor (Fig. 324). Dieser besteht aus einem glatten Harzkuchen, der in eine gut leitende Form gegossen wird, und aus einem wohl abgerundeten, ebenfalls leitenden Deckel von etwas geringeren Dimensionen als der Harzkuchen ist, und welcher mittelst seidener Schnüre isolirt werden kann. Wird der Harzkuchen mit einem Fuchsschwanze oder mit Katzenfell gerieben, so wird er negativ electrisch. In diesem Zustande lassen sich folgende Erscheinungen hervorbringen: 1) Untersucht man den auf dem Kuchen liegenden Deckel, so zeigt er oben die E des Kuchens ($-$E), unten die entgegengesetzte ($+$E). 2) Stellt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, so gibt er kein Zeichen der E. 3) Berührt man ihn, während er auf dem Kuchen liegt, mit dem Finger, so bemerkt man einen kleinen Funken, und der dann aufgehobene Deckel zeigt $+$E. 4) Berührt man nach Auflegung des Deckels mit einem Finger die Form, mit dem anderen den Deckel, so erhält man einen Stoß. Der dann aufgehobene Deckel verhält sich wie in 3). 5) Richtet man den Electrophor so ein, daß der Kuchen aus der Form genommen werden kann; so findet man am Kuchen, so lange der Deckel aufliegt, unten $+$E. Die Form zeigt oben $-$E, unten $+$E. 6) Alle diese Erscheinungen erfolgen, die Form mag isolirt seyn oder nicht, nur mit dem Unterschiede, daß die isolirte Form nach dem Berühren in 4) und nach der Aufhebung des Deckels $-$E zeigt, und daher bei der Berührung einen Funken gibt.

Die Wirksamkeit eines Electrophors hängt von der Größe des Kuchens, von seiner Härte, Glätte und Dichte, und von der Form und Be-

schaffenheit des Deckels ab. Man erhöht sie durch Vergrößerung, Pressen, Abschleifen und Poliren der Harzmasse, durch Wahl eines Deckels, der ohne Spitzen und eben ist, und sich gut an die Harzfläche anschließt. Die beste Harzmasse zu einem Electrophor erhält man aus 10 Th. Gummilack, 3 Th. Harz, 2 Th. ven. Terpentin, 2 Th. Wachs und 1/2 Th. Pech. Man kann statt des Harzkuchens auch eine Glastafel nehmen, allein diese hält die E nicht lange genug. Weber ersetzte ihn gar durch eine Luftschichte. Wodurch man ihn aber immer ersetzen mag, so bleiben doch die Erscheinungen dieselben, mit der einzigen Ausnahme, daß man, wenn der electrische Körper +E hat, in allen erwähnten Phänomenen auch statt +E, —E und umgekehrt erhält. Man bedient sich des Electrophors mit Vortheil zu Zündmaschinen; man kann auch Flaschen damit laden. Als Reibzeug braucht man am besten Fuchsschwänze, Katzen-, Hasen- oder Marderfelle und trockenen warmen Flanell.

338. Alle diese Erscheinungen des Electrophors sind Folgen der Electrisirung durch Vertheilung. Die —E des Kuchens bewirkt im Deckel eine Zerlegung der ±E, sie zieht +E an, stoßt —E ab; daher die Erscheinungen 1, 2, 3. Im Kuchen selbst erzeugt —E der oberen Fläche unten +E. Diese zersetzt wieder ±E der Form, zieht —E an und stoßt +E ab; daher die Phänomene 4, 5, 6. (Hummel in Zeitsch. n. F. 2. 213.) Der Kuchen des Electrophors mit seinen beiden Belegungen stellt eine Franklin'sche Tafel vor, und kann wie diese geladen werden. Theilt man dem Deckel —E mit, so erhält auch die obere Fläche des Kuchens —E; entladet man hierauf den Apparat, so verliert der Kuchen nicht alle —E, und nun beginnt die eigentliche Wirkung des Electrophors. Hieraus erhellet die Beziehung des Electrophors zur Franklin'schen Tafel, und wie man letztere in einen Electrophor umstalten kann.

339. Der Condensator, ein im Jahre 1782 von Volta zuerst bekannt gemachtes Instrument, dient schwache Electricitäten zu entdecken, die mittelst eines gewöhnlichen Electroskops nicht mehr entdeckt werden können. Er besteht in seiner besten Einrichtung aus zwei eben geschliffenen runden Metallplatten, wovon die untere auf einem isolirten Fuße ruht, während die obere mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist. Die zwei einander zugewendeten Seiten der Metallplatten sind mit einer sehr dünnen Firnißschichte überzogen. Sehr zweckmäßig ist es, die Bodenplatte unmittelbar mit einem empfindlichen Electroskope zu verbinden, wie Fig. 325 zeigt. Man pflegt ihr auch an der Seite ein vorstehendes, in einen Knopf sich endigendes Drahtstück anzusetzen. Wir wollen in den folgenden Betrachtungen der Kürze wegen die isolirte Oberplatte A, die mit dem Electroskope verbundene Unterplatte B nennen.

Statt die Metallplatten an den Berührungsflächen durch eine Firnißschichte zu trennen, kann man auch dieselben dadurch isoliren, daß man die Platten sich nicht berühren läßt, sondern auf die Unterplatte kleine Glas- oder Siegellackstückchen gibt, und die Oberplatte darauf setzt. Hier dient die zwischen den Platten befindliche Luftschichte statt des Firnisses. Man kann statt metallener Platten auch übergoldete Glasplatten anwenden. Früher nahm man zur Unterplatte des Con-

densators eine Platte aus einem Halbleiter, meistens Marmor, wobei die Firnißschichte an der Oberplatte zwar entbehrlich war, aber das Instrument weit weniger leistete, als bei der jetzt allgemein üblichen oben angegebenen Einrichtung.

340. Beim Gebrauche des Condensators stellt man die zwei Platten A und B auf einander, berührt eine derselben mit dem Finger, während die andere mit jenem Körper in Contact kommt, dessen E man ersichtlich machen will, und läßt diese Berührung einige Secunden dauern, dann hebt man A am isolirenden Stiel ab, und sieht zu, ob das mit B verbundene Electroskop Zeichen von E von sich gibt. Hat man A mit dem Körper berührt, so zeigt das Electroskop die entgegengesetzte; hat man B mit dem Körper berührt, so zeigt es die gleichnamige Electricität hinsichtlich jener des Körpers an.

341. Die Wirkung des Condensators wird klar, wenn man sich denselben als eine Franklin'sche Tafel denkt, deren Glasplatte in zwei Theile gespalten ist. In der That stellt jede der zwei Metallplatten eine Armatur, beide sich berührende Harzschichten aber die Glasplatte vor. Bringt man nämlich, während die Platten auf einander ruhen, einen z. B. positiv electrischen Körper M mit der Platte B des Condensators in Berührung, so wird diese selbst durch Mittheilung electrisch, nimmt aber, zumal wenn A mit dem Finger berührt wird, von M mehr E auf, als wenn sie mit A nicht in Berührung stände; denn die mitgetheilte + E zersetzt ± E der Oberplatte, und + E wird abgestoßen, — E angezogen. Letzteres — E ist aber nicht so intensiv als nöthig wäre, um mit dem + E der Platte B den natürlichen Zustand zu begründen, oder der Unterschied in der Intensität beider E ist desto größer, je dicker die Harzschichte ist. Es bindet darum — E von A nicht die ganze Menge + E von B, und es besteht + E der Platte B aus zwei Theilen, einem gebundenen und einem freien. Letzterer ist, wenn A mit dem Finger berührt wird, in Vergleich mit ersterem sehr gering, ihm allein hält die E des zu untersuchenden Körpers M das Gleichgewicht, und es hat darum die Platte B von M weit mehr E aufgenommen als sie hätte aufnehmen können, wenn die Condensatorsplatte B allein vorhanden gewesen wäre.

Um sich den Hergang der Sache deutlich vorzustellen, nehme man an, es werde A nicht mit dem Finger berührt, wodurch jede Electricitätsmenge abfließen kann, sondern nur mit einem isolirten Leiter, den man, so wie er zurückgestoßenes + E aufgenommen hat, entfernt, dann entladet, wieder mit A in Contact setzt, und so fort. So wie nun ein Theil der an die Unterplatte B von M abgegebenen + E gebunden ist, nimmt dieselbe von M wieder neue + E auf, diese zersetzt wieder einen Theil der ± E der Platte A, und dadurch wird wieder ein Theil der + E von B gebunden, und so geht es fort, bis kein E von M mehr aufgenommen werden kann. Gesetzt, es verhalte sich die der Platte B von M zuerst mitgetheilte $+E = P$ zu der von dieser E gebundenen $-E = Q$ wie $1 : m$, wo $m < 1$ ist; so hat man $mP = -Q$ oder $mP + Q = 0$. Nun bindet aber wieder $-Q$ der Platte A von $+E$ der Platte B die Quantität $= P'$, für welche man wieder hat $P' : Q = m : 1$ oder $P' + mQ = 0$. Daraus wird aber mittelst der vorhergehenden

Gleichung $P' + m^2 P = o$. Für sich und ohne Einwirkung der Platte A hätte B von M die Electricitätsmenge $R = P - P'$ aufgenommen, und es ist darum $R = P - P' = (1 - m^2) P$ und $\frac{P}{R} = \frac{1}{1 - m^2}$. Die Größe $\frac{P}{R}$ gibt die condensirende Kraft des Instrumentes an. Cavallo's Collector ist vom Condensator nicht wesentlich verschieden.

342. Die dem Condensator beigebrachte E kann zur Erzeugung neuer E dienen; läßt sich diese mit der früher erzeugten vereinigen, so wird erstere dadurch verstärkt. Hierauf beruht Bennet's Duplicator, womit Grade der E, die selbst nach der einfachen Condensation auf das Electroskop zu wirken unvermögend sind, bemerklich gemacht werden können. Ohne hier auf die Veränderungen einzugehen, die dieses Instrument durch Nicholson, Bohnenberger und Andere erhalten hat, wird das Princip der Electricitätsverdopplung, das demselben zum Grunde liegt, durch folgende Darstellung klar werden. Es seyen B und C zwei gleiche, mit Electroskopen versehene, neben einander stehende Condensator-Unterplatten, und A eine darauf passende, mit dem isolirenden Handgriffe versehene Oberplatte. Man berühre, nachdem man A auf B gesetzt hat, B mit dem Körper, dessen Electricität, z. B. + E, nachzuweisen ist, und zugleich A mit dem Finger, so wird in B eine gewisse Menge + E durch die in A latent gewordene entsprechende — E gebunden. Man hebe A von B am isolirenden Griffe hinweg, wodurch die — E in A und + E in B frei werden, und setze A auf C, so wird die natürliche E in C durch die — E der Platte A zersetzt, und wenn man jetzt C mit dem Finger berührt, durch wechselseitiges Binden die — E in A und eine entsprechende Menge von neu entstandener + E in C festgehalten. Bringt man nun C mit B mittelst eines an einem isolirenden Griffe gehaltenen Metallstückes in leitende Verbindung, so geht ein Theil der in B befindlichen freien + E in C über und wirkt auf die E in A zersetzend, so daß, wenn man A mit dem Finger berührt, fast alle + E aus B in C geführt und gebunden wird, während in A eine entsprechende Menge — E latent wird. Es ist demnach die Menge der in C gebundenen + E, wie auch jene der in A gebundenen — E fast doppelt so groß als früher. Setzt man jetzt wieder A auf B und wiederholt das angegebene Verfahren, d. h. berührt man B mit dem Finger, stellt hierauf eine leitende Verbindung zwischen B und C her, und berührt endlich A mit dem Finger, so ist die Menge der gebundenen + E in B, und der gebundenen — E in A wieder größer und nahe das Vierfache der vorigen. So kann man fortfahren und dadurch die gebundene E der Condensatorplatten nahe auf das 8, 16, 32fache u. s. w. steigern, wodurch sich endlich bei dem Abheben von A an dem Electroskope der Unterplatte Zeichen freier E zu erkennen geben. (Ueber den Collector und Duplicator s. Gren's Journ. 1. 275. Gilb. Ann. 9. 124; 13. 208; 17. 414; 42. 376.)

Fünftes Kapitel.

Berührungselectricität und Volta'sche Säule.

343. Die Erfahrung lehrt, daß zwei sich berührende feste, gute Leiter stets electrisch sind, und daß einer solcher zwei Körper positiv, der andere negativ electrisch ist. Man überzeugt sich davon leicht auf folgende Weise: Man nehme eine 1 Z. große, recht glatte Zink- und eine eben so große Kupferplatte, befestige jede derselben an einem isolirenden Handgriffe, fasse beide Platten bei diesem, bringe sie mit einander in Berührung, trenne sie hierauf und übertrage die E der einen oder der anderen an einen Condensator. Dieses Verfahren wiederhole man 5—6mal. Der Condensator zeigt dann deutlich die E der Platte. Man kann die Platten auch zusammenlöthen, um dem Einwurfe auszuweichen, daß die E etwa durch Druck oder Reibung erzeugt worden sey. Dieser Versuch heißt der Volta'sche Fundamentalversuch, weil ihn Volta zuerst zur Befestigung einer gegen Galvani gerichteten Behauptung angestellt hat, und er die Basis der ganzen Theorie der Berührungselectricität ausmacht. Statt Kupfer und Zink kann man auch andere Metalle wählen, jedoch gibt jedes Körperpaar eine andere Electricitätsmenge, wie in der Folge mehr erörtert werden wird. Der eigentliche Ort der E Erregung ist die Berührungsstelle, doch verbreitet sich bei guten Leitern die frei gewordene E über die ganze Oberfläche der sich berührenden Körper. Es kann darum die Berührungsstelle unbeschadet der zu erregenden E beliebig klein seyn, wenn nur die Oberflächen der sich berührenden Körper einander nahe genug kommen. Volta erhielt an einem Plattenpaare von Silber und Zink, wo die Zinkplatte nur an drei kleinen Spitzen mit dem Silber in Berührung stand, aber beide Platten im Uebrigen einander so nahe waren, daß kaum Licht durch den Abstand derselben scheinen konnte, eben so starke E, als wenn die ganzen Flächen einander berührten, und diese E war viel stärker, als jene, welche die Platten gaben, als man sie unter einem Winkel zusammenlöthete, wo es daher wohl viele Berührungspunkte gab, aber der Rest der Metallflächen stark von einander abstand. Wiewohl es nichts weniger als erwiesen ist, daß diese Electricität unmittelbar aus der Berührung entspringe, so wollen wir sie doch Berührungselectricität nennen, da wohl nicht geläugnet werden kann, daß die Berührung dasjenige sey, wodurch die eigentliche, hier thätige Elektricitätsquelle zur Wirksamkeit gelangt. Uebrigens ist die Berührungselectricität eben so vorzugsweise geeignet, die Erscheinungen eines electrischen Stromes vor Augen zu stellen, wie die Reibungselectricität jene der electrischen Spannung zu gewähren im Stande ist.

344. Eine Zink- und eine Kupferplatte oder zwei andere sich berührende Metallplatten, die Berührungsstelle mag noch so klein seyn, bilden ein Volta'sches Element. In einem solchen aus Zink oder Kupfer bestehenden Elemente ist immer das Zink positiv, das Kupfer negativ electrisch. Jede der zwei Electricitäten ist an der Berührungs-

stelle am stärksten, und es scheint, als wirkten die zwei Platten durch die in ihnen erregte Electricität condensirend auf einander (Fechner in Schweigg. J. 55. 223). Verbindet man die beiden Bestandtheile des Elementes mit einem schlechten Leiter, so wird am electrischen Zustande derselben nichts geändert; dasselbe erfolgt auch, wenn man einen Halbleiter als Verbindungsmittel braucht, aber der Halbleiter nimmt selbst einen besonderen electrischen Zustand an. Wird z. B. ein mit Zink zusammengelötheter Kupferstreifen halbkreisförmig gebogen und von einem Ende des Halbkreises zum anderen mit reinem Wasser durchnäßtes Papier, Asbest oder Baumwolle gespannt, hierauf die Kupferplatte mit der Hand gehalten, und sowohl die Zinkplatte, als auch verschiedene Stellen des Halbleiters mittelst eines Condensators untersucht; so findet man das Zink eben so stark positiv electrisch, als wäre der Halbleiter gar nicht damit in Verbindung, dieser selbst hat in der Nähe des Zinkes + E von gleicher Stärke mit dem Zink, in einiger Entfernung davon geringere Electricität, in der Nähe des Kupfers aber gar keine. Eben so findet man, wenn man das Zink in der Hand hält, das Kupfer, in Betreff seiner negativen Electricität, und im Halbleiter ist — E eben so angeordnet wie vorher + E, seine am stärksten electrische Stelle befindet sich in der Nähe des Kupfers, in der Nähe des Zinkes hingegen befindet er sich im natürlichen Zustande. Berührt man weder die Zink- noch die Kupferplatte und untersucht den Halbleiter, so findet man ihn in der Nähe der Zinkplatte positiv, in der Nähe der Kupferplatte negativ electrisch.

345. Mehrere Volta'sche Elemente in derselben Ordnung und so zusammengestellt, daß immer eines vom nächstfolgenden durch eine nichtmetallische, gut leitende Flüssigkeit (L) getrennt ist, machen eine Volta'sche Säule oder Batterie. Die Art der Zusammensetzung der einzelnen Elemente ist sehr verschieden, je nachdem die Anzahl derselben groß oder klein, und die Ausdehnung jedes einzelnen bedeutend oder gering ist, oder je nachdem man viele Elemente in einen kleinen Raum zusammenzudrängen und mit wenig Flüssigkeit auszureichen oder eine rasche, wenn auch nur kurz dauernde, oder eine anhaltende Electricitätsentwicklung beabsichtiget.

Wenige (höchstens 50) und nicht gar große Platten stellt man am liebsten in der Ordnung KZLKZL rc. in Form einer verticalen Säule (Fig. 326) zwischen Glasstäben zusammen, so daß, wenn die unterste Platte Kupfer ist, die oberste aus Zink besteht oder umgekehrt. Oft ist jede Zinkplatte mit ihrer Kupferplatte zusammengelöthet, letztere etwas größer als erstere, und der vorstehende Theil zu einer Art Schale aufgebogen. Der feuchte Leiter besteht da gewöhnlich aus einer wässerigen Lösung von Kochsalz oder Salmiak, oder auch aus einer schwachen Säure, mit denen man Tuch- oder Pappscheiben tränkt. Will man mehr Platten zusammenstellen, so bildet man von ihnen mehrere solche Säulen, stellt sie neben einander und verbindet das Kupferende der einen mit dem Zinkende der anderen mittelst guter Leiter. Um das Reinigen der Platten zu erleichtern, welches immer vorgenommen werden muß, wenn der Apparat einige Zeit im Gange war, und auch um größere Platten anwenden zu können, braucht man die sogenannten Becher-

und Trogapparate. Ein Becherapparat (Fig. 327) besteht aus einer Anzahl gläserner Gefäße, welche den flüssigen Leiter enthalten, und aus eben so vielen Paaren Metallplatten, wovon immer eine Zink- mit einer Kupferplatte mittelst eines Metallstreifens verbunden ist; diese werden in die Gefäße so eingehängt, daß in jedes derselben immer eine Kupfer- und eine Zinkplatte zu stehen kommt. Graf Stadion nahm statt der Zinkplatte eine bloße Zinkstange, und statt der Kupferplatte einen hohlen kupfernen Cylinder, jede Zinkstange war mittelst eines Bogens an den folgenden Cylinder gelöthet. (Fig. 328.) Berzelius empfiehlt als den einfachsten Volta'schen Becherapparat jenen, wo jede Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel vertreten wird, in welche ein Kupferdraht eingelöthet ist, der in einen Bogen gekrümmt, am anderen Ende etwas breitgeschlagen wird, und sogleich statt der Kupferplatte dient. Man kann statt gläserner Gefäße auch schmale kupferne anwenden, sie in eine Reihe neben einander stellen und die in jedes einzelne eingehängte Zinkplatte mit dem nächstfolgenden Gefäße verbinden. Am zweckmäßigsten ist es, sowohl jede Zink- als jede Kupferplatte zu einem Cylinder zusammen zu rollen. Ein Trogapparat (Fig. 329) hat folgende Einrichtung: Er besteht aus einem Kasten von Holz, Steingut oder Porcellan mit Fugen zur Aufnahme der Platten, deren jede meistens aus zwei zusammengelötheten einzelnen Platten von Kupfer und Zink, sogenannten Doppelplatten, besteht, und die so angeordnet werden, daß immer eine ihre Kupferseite der Zinkseite der folgenden zuwendet, wodurch schon erreicht wird, daß, wenn die erste mit Kupfer anfängt, die letzte mit Zink aufhört. In die Zellen wird der flüssige Leiter gegossen. Man meinte sonst, die einzelnen Zellen dürfen nicht unter einander communiciren, und machte, um dieses desto leichter zu erreichen, Tröge von Porcellan oder anderem Töpferzeuge, die schon in Zellen eingetheilt waren; die zwei Platten eines Elementes wurden nicht zusammengelöthet, sondern mittelst eines beiderseits angelötheten Metallstreifens verbunden, damit sie in zwei benachbarte Zellen des Troges gestellt werden könnten. Faraday empfiehlt aber, den Trogapparat nicht in einzelne Zellen abzutheilen, sondern alle Elemente des Apparates in den ununterbrochen mit Flüssigkeit gefüllten Trog zu tauchen. Die Platten eines Elementes löthet man zusammen und trennt das Kupfer vom Zink des folgenden Elementes durch Kork oder Glas, und da eine Zinkplatte gewöhnlich zwischen zwei Kupferplatten steht, oder vielmehr jede Kupferplatte doppelt so groß genommen wird als eine Zinkplatte, und um diese herumgebogen wird, eine Kupferplatte von der anderen durch dickes Papier. Die Zinkplatten werden amalgamirt. Um alle Elemente dieses oder des vorher erwähnten Apparates zugleich in die Zellen einsenken und wieder herausheben zu können, sind ihre Verbindungsbögen an eine gefirnißte, hölzerne Leiste befestigt (Fig. 330). Will man einzelne, besonders große Elemente anwenden und doch dabei mit wenig Flüssigkeit ausreichen; so wird zwischen die zwei Platten eines Elementes Sohlenleder oder auch Tuch gelegt und hierauf das Ganze spiralförmig zusammengewunden, jedoch ohne daß sich die zwei Platten irgendwo berühren. Man kann die Zinkplatten auch in offene Hülsen von Kupfer so stellen, daß sie sich nirgends berühren und durch gefirnißte Holzstäbe von einander gehalten werden. Mit 250 solchen Paaren, wo die Zinkplatte 7 Zoll lang und 6 Zoll breit war, hat Hare eine Säule gebaut, die er Deflagrator nannte. Um Säulen von langer und fast unverändert anhaltender Wirksamkeit zu erhalten, theilt man nach Daniell den für die Flüssigkeit bestimmten Raum durch eine Membrane in zwei Abtheilungen, so daß jedes der zwei Metalle eines Elementes sich in einer besonderen Zelle befindet,

und wendet dann für jedes Metall eine eigene Flüssigkeit an, und zwar eine solche, die der Eigenthümlichkeit des Metalles entspricht. Für Kupfer eignet sich besonders eine concentrirte Kupfervitriollösung, für Zink eine Lösung von Kochsalz oder Salmiak. Man thut gut, jede Zinkplatte zu amalgamiren. (Gilb. Ann. 6. 346 und 468; 7. 114; 9. 353; 28. 130; 30. 331; 46. 233; 65. 471; 54. 9. Pogg. Ann. 36. 505; 42. 262 und 282; 43. 328.)

346. Bei einer Volta'schen Säule zeigt sich jede Kupferplatte negativ, jede Zinkplatte positiv electrisch. Die äußersten Platten heißen die Pole der Säule, und zwar einer derselben Zink- oder positiver, der andere Kupfer- oder negativer Pol. Werden beide Pole durch einen leitenden Körper, dem sogenannten Polardraht verbunden, so tritt der electrische Strom ein, und dieser geht durch den Leiter und durch die Säule, und kehrt daher immer in sich zurück; daher man auch eine geschlossene Säule eine electrische Kette nennt. Die Stärke einer Volta'schen Säule hängt ab von der Reinheit der sich berührenden Flächen, von der Natur und Leitungsfähigkeit des flüssigen Leiters, von der Anzahl und Größe der Platten, mitunter auch von der Art ihrer Zusammenstellung.

347. Bei der Volta'schen Säule ist der Zwischenkörper stets ein flüssiger Leiter; man kann aber auch aus lauter festen Leitern eine Säule bauen, die daher mit Recht den Namen einer trockenen Säule führt. Die berühmtesten Säulen dieser Art sind die von Zamboni. (Gilb. Ann. 49, 35, 47, 183; 51. 182; 55. 472.) Sie bestehen aus Gold- und Silberpapier, wohl auch aus bloßem Silber- oder Goldpapier, das auf der Papierseite mit Manganoxyd eingerieben ist. Bringt man einige Tausend solcher Platten in gehöriger Ordnung in eine gläserne Röhre, versieht sie oben mit einem leitenden Knopfe und stellt zwei solche Röhren nahe an einander, so daß in einer die Goldseite, in der anderen die Silberseite des Papieres aufwärts gekehrt ist; so kann ein zwischen sie gestelltes, zartes, isolirtes Pendel abwechselnd angezogen und abgestoßen werden, mit einer Kraft, die man so weit verstärken kann, daß sie ein Uhrwerk in Bewegung setzt. Fig. 331 stellt diese Säulen vor. Die Wirksamkeit einer solchen Säule ist aber keineswegs von der Art, daß dadurch einer Uhr eine gleichförmige Bewegung ertheilt werden könnte, sondern sie nimmt ab, wenn die Luftfeuchtigkeit wächst, wird stärker, wenn die Temperatur steigt, und zwar fast im geraden Verhältnisse mit der Temperaturveränderung, wenn dieselbe langsam eintritt (Zeitschr. 7. 360). Durch die Feuchtigkeit des Papieres wird ihre Kraft gesteigert, aber nach Jäger's Erfahrungen (Gilb. Ann. 62. 227) zeigt sich selbst eine Säule aus möglichst getrocknetem Papiere noch wirksam. Watkins (Pogg. Ann. 14. 380) hat eine trockene Säule aus einem einzigen Metalle gebaut. Er wählt dazu Zinkplatten, die er auf einer Fläche polirt, auf der anderen rauh läßt und sie in einen Trog so einsetzt, daß alle polirten Flächen nach derselben Seite hinsehen und zwischen je zwei Platten eine etwa 1/2 Linie dicke Luftschichte bleibt. Hier vertreten die zwei verschiedenen Flächen

die zwei Metalle, und die zwischen zwei Metallplatten befindliche (feuchte) Luftschichte das Papier.

Trockene Säulen hat Behrens aus Flintensteinen, die einerseits mit Zink, andererseits mit Kupfer überzogen waren; Deluc aus Goldpapier und verzinntem Eisenbleche; Biot aus Zink, Kupfer und Salpeterscheiben; Jäger aus Zink, Kupfer, Firniß und Harz oder Seide; Ritter aus Zink, Kupfer und trockenem Schafleder; Kämtz aus vielen organischen Stoffen, wie z. B. aus Zucker und Hefen, Wachs und Leinöhl, Gummi und Salep rc. construirt. (Schweigg. J. 56. 1.) Bohnenberger hat zwei kleine, Zambonische Säulen, zwischen welchen ein Goldplättchen hängt, als Electroskop empfohlen. (Tübinger Blätter 1. 380 oder Schweigg. J. 25. 159.) Wirklich zeigt ein solches Instrument nicht nur die kleinsten Spuren der E, sondern auch zugleich ihre Beschaffenheit. Man kann aber auch eine einzige Säule zu diesem Zwecke brauchen, wie Becquerel zuerst gethan hat. (Zeitschr. n. F. 1. 188.)

348. Auch mittelst eines festen und eines flüssigen Körpers, ja sogar durch zwei tropfbare Flüssigkeiten kann Electricität erregt werden. Ersteres geschieht in Zamboni's zweielementiger Säule. Diese erhält man, wenn man mehrere Zinnplättchen so schneidet, daß jedes in eine feine Spitze auslauft, sie in mit Wasser gefüllte Uhrgläser so stellt, daß jedes Plättchen auf zwei neben einander stehenden Gläsern gleichsam reitet, und immer in ein Glas von einem solchen Plättchen die Spitze, von einem anderen der breitere Theil zu stehen kommt. Da bemerkt man an dem äußersten Plättchen eine electrische Spannung, die mehrere Tage anhält, ohne daß eine Veränderung an den Zinnplättchen wahrzunehmen wäre. Das Stielende des Zinnes hat in der Regel — E, das andere + E. (Gilb. Ann. 60. 151.) Wenn sich die electrische Spannung verloren hat, welches meistens nach ein Paar Tagen geschieht, so kann man sie durch Zusatz von etwas Kochsalz wieder erwecken. Becquerel hat eine 2 — 3 Linien weite Glasröhre unten mittelst feinem Thone verstopft, der mit einer starken Aetzkalilauge befeuchtet war, die Röhre mit Flüssigkeit angefüllt und sie in eine Flasche mit starker Salpetersäure gestellt. Als er Säure und Alkali mit einander durch Platin verband, erhielt er deutliche Anzeigen vom Daseyn eines electrischen Stromes (Pogg. 37. 429).

349. An einer thätigen, isolirten Volta'schen Säule zeigt, wie gesagt, der Zinkpol mittelst eines Electroskops + E, der Kupferpol — E und beide Electricitäten erscheinen gleich stark. Deßhalb heißt auch jener der positive, dieser der negative Pol der Säule. Eben so zeigt jede andere Zinkplatte der Säule wenigstens mittelst des Condensators + E, jede Kupferplatte — E; die Intensität der E nimmt mit der Entfernung der Platten von jenem Pole, der mit ihr gleichnamige E hat, in einer arithmetischen Reihe ab. Ist ein Pol der Säule mit der Erde in leitender Verbindung, so steigt die Spannung des anderen auf das Doppelte, und dann zeigt die Säule nur die Electricität des letzteren Poles. Das Maximum der Spannung tritt aber nicht immer augenblicklich, nachdem die Pole mit dem betreffenden Elemente verbunden worden, sondern oft erst nach einiger Zeit ein,

deren Dauer mit dem feuchten Leiter der Säule zusammenhängt. Merkwürdig ist es, daß die Spannung des einen Poles einer Säule, dessen zweiter mit der Erde leitend verbunden ist, von gleicher Größe befunden wird, der flüssige Leiter mag wie immer beschaffen seyn. Sind aber beide Pole isolirt, so hängt die E derselben vom flüssigen Leiter ab. Bringt man die äußere Belegung einer Leidnerflasche von beliebiger Größe mit einem Pole, und die innere mit dem anderen in genaue Berührung; so wird dieselbe schnell bis zu der Spannung geladen, welche dem Pole eigen ist. Van Marum lud auf diese Art mit einer Säule von ganz kleinen Platten eine ungeheure Batterie augenblicklich zu einem Grade, wozu er sonst mehrere Umdrehungen seiner Riesenmaschine gebraucht hätte. Eine trockene Säule verhält sich wie eine nasse, jedoch ist ihre Spannung kleiner als die einer nassen von gleicher Anzahl Platten. Man kann auch mit einer solchen Säule eine Leidnerflasche oder eine Batterie laden, aber die Ladung erfolgt nicht augenblicklich, sondern man braucht dazu eine merkliche Zeit. Werden die Pole einer thätigen Volta'schen Säule hinter einander durch verschiedene Körper verbunden und jedesmal die Spannung an den Polen untersucht, so gelangt man zu sehr interessanten Phänomenen: Einige Körper, wie z. B. die Metalle, heben die Spannung beider Pole vollkommen auf, und sind demnach im Stande, ihre E vollkommen abzuleiten. Man nennt sie darum auch vollkommene Leiter, andere schwächen die Spannung gar nicht, und können darum, in Bezug auf die vorhandene Electricität, als Nichtleiter angesehen werden. Von der Art ist Glas, Seide, Harz ꝛc. Es gibt Körper, die im starren Zustande Nichtleiter, im tropfbaren hingegen Leiter sind, wie z. B. Wasser, Bleioxyd, Kali, Kaliumchlorid, Schwefelantimon, Borax. Bei Quecksilberjodid findet aber das Gegentheil Statt. Wieder andere schwächen die beiden Pole der Säule nur, ohne sie ganz aufzuheben, theilen sich aber selbst in zwei, mit electrischer Spannung begabte Hälften, und zwar erhält die mit dem + Pol verbundene Hälfte + E, die mit dem — Pol verbundene — E. Solche Körper behalten diesen ihren electrischen Zustand noch lange Zeit, wenn sie auch schon von der Säule getrennt worden sind. Man nennt sie zweipolige unvollkommene Leiter. Von der Art ist nasses Papier, eine Säule aus immer abwechselnden Lagen von Metallplatten und feuchten Leitern. Eine solche Säule nennt man Ladungssäule oder secundäre Säule, wohl auch Ritter'sche Säule. (Gilb. Ann. 19. 488.) Einer solchen Säule ähnlich ist ein etwa eine halbe Linie dicker Silberdraht, dessen beide Enden man abwechselnd, eines mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pole einer starken Säule in Verbindung gebracht und dieses etwa eine Stunde lang fortgesetzt hat. Da erscheint mittelst eines guten Condensators jedes Drahtende mit einer electrischen Spannung, und zwar das eine mit positiver, das andere mit negativer E. (Zeitschr. 9. 241. Pogg. Ann. 44. 44.) Endlich gibt es auch Körper, welche, als

Polardraht gebraucht, nur die E eines Poles ableiten, die des anderen aber unverändert lassen. Man nennt sie einpolige Leiter, und zwar positiv oder negativ einpolige, je nachdem sie die E des positiven oder negativen Poles wegnehmen. Zur ersteren Classe gehört die Flamme des Alkohols, des Wachses, Oehles, des Wasserstoffgases; zur letzteren die trockene Seife, Bleiweiß, Phosphorflamme. Uebrigens bedarf dieser Gegenstand noch einer weiteren Untersuchung, weil er vielleicht mit materiellen Veränderungen des Leiters in Verbindung steht. Erman in Gilb. Ann. 22. 14. Ohm in Schweigg. J. 59. 385.)

Sechstes Kapitel.

Electricität in Bewegung (Electrodynamik).

350. Wenn die in einem Körper angesammelte E nicht durch schlechte Leiter zurückgehalten wird, so fließt sie ab und der Körper kehrt in den natürlichen Zustand zurück, falls er nicht in sich selbst die Quelle eines fortwährenden Electrischwerdens hat. Man stellt sich vor, diese Fortpflanzung gehe so vor sich, daß das erste Element des guten Leiters, durch welchen sie erfolgt, durch Vertheilung electrisirt werde, und an die E, welche die Vertheilung bewirket, ihre entgegengesetzte E abgebe. Dadurch wird die ihr gleichnamige E frei und wirkt eben so auf die ± E des folgenden Elementes des Leiters, wie auf das erste Element gewirkt wurde. Auf diese Weise ist das Abfließen der E eines Körpers das Resultat einer immer weiter fortschreitenden Zersetzung und Zusammensetzung der ± E, mithin der Fortpflanzung einer Bewegung, wobei das Bewegte die Lage seines Gleichgewichtes nur sehr wenig verläßt, und dieses Fortschreiten macht den electrischen Strom. Oft pflanzen sich zwei entgegengesetzte E in entgegengesetzten Richtungen durch einen Körper fort, in welchem Falle die Phänomene des Stromes besonders auffallend sind. Wenn von der Richtung des electrischen Stromes die Rede ist, so meint man immer jenen der positiven Electricität.

351. Es ist bekannt, daß man in einem Körper, der beide E zugleich enthält, den electrischen Strom erregt, indem man die mit entgegengesetzten E versehenen Stellen durch einen guten Leiter verbindet. In einer geladenen Leidnerflasche wird der electrische Strom eingeleitet, indem man den Knopf der Flasche mit der äußeren Belegung in leitende Verbindung setzt; bei einer Electrisirmaschine mit isolirten Reibzeugen, wenn man dieselben mit dem Conductor, und in einer Volta'schen Säule, indem man die beiden Pole mit einander leitend verbindet. Eine solche geschlossene Säule hat nun eigentlich keine Pole mehr, und der Strom geht sowohl durch die Säule als durch den Polardraht. Bei einer Leidnerflasche bedient man sich zur Führung des Stromes des sogenannten Ausladers. Dieser besteht aus Drähten, welche an einem Ende mit leitenden Kugeln versehen, am

anderen um eine Charnier beweglich sind, und mittelst eines gläsernen Handgriffes gefaßt werden können. Vorzüglich bequem ist Henley's allgemeiner Auslader, an welchem die zwei mit den Belegungen der Flasche zu verbindenden Metalldrähte so eingerichtet sind, daß man den Strom durch einen beliebigen Körper leiten kann. Fig. 332 stellt ihn vor. Man kann einen electrischen Strom auf mehreren Wegen fortzuleiten suchen. Kann er mehrere Wege zugleich einschlagen, welches z. B. geschieht, wenn man gleichzeitig mehrere Polardrähte oder mehrere Auslader anwendet; so vertheilt er sich unter alle diese nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit. Sind sie alle gleich gute Leiter, so vertheilt sich der Strom in alle gleich; ist ihre Leitungsfähigkeit ungleich, so geht durch den besseren Leiter ein stärkerer Strom als durch den schlechteren. Da, wie die Folge zeigen wird, ein längerer Leiter eben dadurch schon schlechter leitet als ein kürzerer, so wird bei ungleich langen Leitern von sonst gleicher Beschaffenheit doch durch den kürzeren ein stärkerer Strom gehen. Die Electricität kann sich auch durch den leeren Raum fortpflanzen, indem dieser, seiner Natur nach, kein positives Hinderniß abgeben kann. Zu Versuchen hierüber liefert jedes gute Barometer die nöthige Vorrichtung.

352. Ob sich ein electrischer Strom momentan oder nur mit sehr großer Geschwindigkeit fortpflanze, war lange unbekannt; bei den im Jahre 1747 von Watson angestellten Versuchen konnte man an einem 4 engl. Meilen langen Bogen keine Spur einer successiven Fortpflanzung der Electricität wahrnehmen; aber neuestens hat Wheatstone durch ein sehr sinnreiches Verfahren nicht bloß die successive Fortpflanzung, sondern auch die Größe der Geschwindigkeit der Electricität wenigstens für den Fall ermittelt, wenn die E einer geladenen Leidnerflasche durch einen Kupferdraht geht, und gefunden, daß dieselbe in 1 Sec. 58600 Meilen zurücklege.

Das Verfahren, wodurch Wheatstone dieses Resultat erhalten hat, ist so sinnreich, und verspricht noch für die Folge so reichliche Früchte, daß eine nähere Erörterung desselben hier unerläßlich ist: Man denke sich einen um eine horizontale Axe beweglichen Planspiegel, dessen spiegelnde Ebene in der Drehungsaxe liegt, und ertheile demselben eine drehende Bewegung. Sieht man in ihm das Bild eines leuchtenden Punktes, so wird dieses in einer auf die Drehungsaxe senkrechten Richtung von einem Ende der Spiegelfläche zum anderen fortrücken, und zwar mit einer Winkelgeschwindigkeit, welche doppelt so groß ist, als jene des Spiegels; auch wird man, wenn der Spiegel zu einer halben Drehung nicht mehr Zeit braucht als die Dauer des Lichteindruckes, von jenem Punkte im Spiegel eine auf die Rotationsaxe senkrechte Lichtlinie zu sehen glauben. Bewegt sich der leuchtende Punkt selbst parallel mit der Rotationsaxe, und steht seine Geschwindigkeit zu jener der Rotation in einem merklichen Verhältnisse; so wird die gesehene Lichtlinie nicht mehr senkrecht auf der Axe stehen, sondern schief gegen dieselbe. Beträgt die Abweichung von der auf der Axe senkrechten Richtung m^o, so legt der Spiegel in derselben Zeit $\frac{m^o}{2}$ zurück, und wenn bekannt ist, daß dieser in 1 Sec. a Umläufe macht, mithin $360\,a^o$ beschreibt, so wird man schließen können, die Bewegung des leuchten-

den Punktes entspreche einer Zeit von $\frac{\frac{1}{2} m}{360\,a} = \frac{m}{720\,a}$ Secunden. Der Versuch, um den es sich eigentlich handelt, wurde nun von Wheatstone auf folgende Weise angestellt: Vor dem um eine horizontale Axe rotirenden Planspiegel wurden in einem $^1/_{15}$ Z. dicken Kupferdrahte 20 Lagen, jede zu 120 F., so mit einander verbunden, daß, wenn man die E einer geladenen Leidnerflasche durch sie leitete, an den beiden Enden und in der Mitte ein Funke erscheinen konnte, und die Anordnung getroffen, daß diese drei Funken in eine mit der Axe des Spiegels parallele Richtung fielen. Als nun der Spiegel so schnell gedreht wurde, daß er in 1 Sec. 800 Umdrehungen machte, hatte das Bild jener Funken in demselben das Ansehen dreier parallelen Linien (—=—), wovon die mittlere hinter den äußeren zurückblieb, wenn die Rotation rechts; hingegen das Ansehen dreier eben solcher (=—=), wovon aber die mittlere den übrigen vorausging, wenn die Drehung links erfolgte, und zwar stand die mittlere Linie gegen die äußeren im ersteren Falle um $^1/_2$° zurück, im letzteren um eben so viel vor. Daraus ist nun zu schließen, daß die zwei an den äußersten Drahtenden auftretenden Funken zugleich, der in der Mitte erscheinende hingegen später entstanden sey, und daß die E, um von einem Drahtende bis zur Mitte zu kommen, so viel Zeit gebraucht habe, als der Spiegel zur Beschreibung eines Bogens von $^1/_4$° benöthigte, d. h. $\frac{\frac{1}{2}}{720.800}$ = 0 000000868 Sec. Aus dieser Zahl ergibt sich die oben angesetzte Geschwindigkeit der E von selbst.

353. Man muß bei der strömenden E **Quantität** und **Intensität** unterscheiden. Erstere bezeichnet, wie schon der Name sagt, bloß die Menge der in einer gegebenen Zeit durch einen Querschnitt des durchströmten Körpers fließende Electricität, letztere aber die Dichte derselben, mithin das Verhältniß ihrer Menge zur Größe des durchströmten Kanalquerschnittes. Es gibt Phänomene, die hauptsächlich von der Quantität, und wieder andere, die vorzugsweise von der Intensität der strömenden Electricität abhängen. Man darf aber dabei nicht vergessen, daß die Intensität nicht bloß durch Veränderung der Quantität und des Querschnittes des durchströmten Kanals, sondern auch durch die der Electricität auf ihrem Wege zugestoßenen Bewegungshindernisse verändert werden könne.

354. Es gibt electrische Ströme, die so zu sagen nur momentan sind, oder doch nur eine sehr kurze Zeit anhalten, und wieder andere, welche eine geraume Zeit hindurch mit unveränderter Stärke fortdauern. So z. B. ist der Strom, welchen eine Leidnerflasche liefert, nur kurz dauernd, und zwar desto länger, je besser der Ausladungsdraht leitet, kann aber, wiewohl mit stets abnehmender Stärke, durch mehrere auf einander folgende Verbindungen der zwei Belegungen wiederholt auftreten. An einer Electrisirmaschine, deren Reibzeug mit dem Conductor leitend verbunden ist, und die fleißig in Thätigkeit erhaten wird, ist der Strom fortdauernd. Am continuirlichsten erscheint er aber an einer geschlossenen Volta'schen Säule, weil diese sich fast augenblicklich wieder ladet, und das ersetzt, was sie durch den Polar-

draht verloren hat. In einer solchen liefert jedes Element seinen besonderen Strom nach derselben Richtung, für den Strom jedes Elementes geben alle übrigen Elemente den Schließungsdraht ab, und der gesammte Strom ist gleichsam die Summe der Ströme aller einzelnen Elemente. Wenn der Schließungsdraht gut genug leitet, so bemerkt man an ihm, sobald die Kette geschlossen ist, keine Spur einer Wirkung auf das Electroskop. Nur wenn der Draht nicht alle E abzuleiten vermag, bleibt ein Theil ihrer Spannung zurück, und gibt sich durch das Electroskop, wenigstens mittelst eines Condensators, zu erkennen. Eine trockene Säule erlangt die durch einen Polardraht abgeleitete E nicht so schnell wieder, sondern sie braucht dazu einige Zeit, daher ist auch der Strom durch einen Polardraht, der bleibend die beiden Pole einer solchen verbindet, nicht so ununterbrochen, wie bei der nassen Volta'schen Säule. Letztere gibt daher unter günstigen Umständen allein einen völlig ununterbrochenen Strom. Uebrigens bleibt ein solcher electrischer Strom unverändert, wenn er auch durch einen Raum geht, welcher zugleich von anderen Strömen nach beliebigen Richtungen durchgangen wird. (Zeitsch. 7. 337, 351.)

355. In einer Volta'schen Säule geht der electrische Strom sowohl durch die Elemente der Säule als durch den Polardraht, und die etwa denselben unterbrechende Flüssigkeit. In jedem Theile dieses seines Weges erfährt er einen Widerstand, ja zu Folge bestimmter Erfahrungen gibt es sogar einen besonderen Widerstand beim Uebergange des Stromes von einem festen Körper in eine Flüssigkeit. Es sey P die Electricität erregende (electromotorische) Kraft eines Volta'schen Elementes, n die Anzahl solcher Elemente einer Säule, mithin nP ein Ausdruck, welcher der in einer Zeiteinheit erregten E proportionirt ist. Heißt nun der Leitungswiderstand in einem Elemente der Säule p, im Polardrahte q, in der ihn unterbrechenden Flüssigkeit f, und der Widerstand des Ueberganges u, so ist die Kraft der ganzen Säule

$$= \frac{nP}{np + q + f + u},$$

oder wenn der Polardraht ununterbrochen von einem Pole zum anderen reicht $\frac{nP}{np+q}$. Offenbar ist dieser Ausdruck kleiner als $n \cdot \frac{P}{p+q}$, d. h. kleiner als die Summe der Kräfte von n nicht zu einer Säule verbundenen Elemente. Vergrößert man jedes einzelne Element, so wird P größer, ohne daß n, q und p eine Aenderung erleiden, und die Säule liefert offenbar in demselben Verhältnisse mehr Electricität. Vermehrt man aber die Anzahl der Elemente, d. h. vergrößert man n, so wird der vorhergehende Ausdruck nur dann in demselben Maße größer, wenn np gegen q verschwindet, denn da geht er in $\frac{nP}{q}$ über. Bei der Volta'schen Säule ist dieses nicht der Fall, vielmehr verschwindet meistens q gegen np, und es ist

$$\frac{P}{np + p} = \frac{nP}{np} = \frac{P}{p},$$

d. h. die entwickelte Electricitätsmenge ist von der Anzahl der Elemente unabhängig. Daher die Behauptung, die Größe der Elemente bestimme die Quantität, ihre Anzahl die Intensität des Stromes.

356. Der electrische Strom bringt in Körpern, durch die er geht, sehr merkwürdige Wirkungen hervor; nämlich *Erschütterungen* und *Sinnesaffectionen* an empfindenden Wesen, *Licht-* und *Wärmephänomene*, mechanische *Veränderungen*, chemische *Zersetzungen* und *Magnetisirung*. Ueberdieß wirkt er auch theils mittelbar (magnetisirend), theils unmittelbar (electrisirend) in die Ferne. Jede dieser Wirkungen muß nun besonders erörtert werden.

357. Wenn man einen hinreichend stark electrischen Körper mit den Fingern oder mit einem andern Theile des Körpers berührt; so empfindet man, besonders in den Gelenken, durch welche der electrische Strom geht, einen *Stoß*, der die Folge der fortschreitenden Zersetzung und Zusammensetzung der natürlichen E in den Organen des Körpers zu seyn scheint. Vorzüglich empfindlich wird dieser Stoß, wenn beide E in entgegengesetzten Richtungen ihren Weg durch den Körper nehmen. Dieses ist der Fall, wenn man z. B. mit einer Hand den Conductor einer starken Electrisirmaschine, mit der anderen die Reibzeuge berührt, besonders aber, wenn man zugleich mit den beiden Belegungen einer geladenen Leidnerflasche oder mit den beiden Polen einer Volta'schen Säule in leitende Verbindung tritt. Die Erschütterung durch die Entladung einer Leidnerflasche von einiger Größe hat fast in dem Augenblicke Statt, wo die Entladung erfolgt, ist aber auch fast nur momentan, wie der electrische Strom. Sie kann durch eine große Anzahl Personen, die sich mit den Händen fassen und einen zusammenhängenden Leiter bilden, geführt werden. Der durch eine große Flasche oder gar durch eine Batterie erzeugte Stoß kann eine Lähmung, Blutspeien und andere Uebel hervorbringen; man kann dadurch sogar Thiere tödten. Eine große Flasche mit geringer Ladung kann einen eben so wirksamen Stoß ertheilen, wie eine kleine, stark geladene; doch will man in der Natur dieser Stöße einen Unterschied bemerkt haben. Eine Volta'sche Säule gewährt in Betreff der Erschütterung, die ihre Entladung erzeugt, besondere Phänomene, weil sie einen anhaltenden electrischen Strom liefert. Berührt man mit den Fingern, die durch eine Salzauflösung leitend gemacht worden sind, die beiden Pole der Säule und schließt die Kette durch den Körper; so empfindet man einen Schlag, wie aus einer Leidnerflasche, der aber, wenn die Säule stark und der flüssige Leiter leitend genug ist, durch längere Zeit mit kleinen Unterbrechungen anhält. Beim Oeffnen der Kette tritt ein ähnlicher Stoß ein. Die Stärke dieser Schläge hängt von der Richtung des Stromes gegen den Verlauf der durch ihn afficirten Nerven und von der Drahtlänge ab. Geht er

dem Verlaufe des Nerves nach, so haben beide Erschütterungen, die beim Schließen und die beim Oeffnen der Kette erregte, einerlei Stärke, hat er aber eine entgegengesetzte Richtung, so ist die letztere schwächer als die erstere, doch ist der Unterschied nicht für alle Individuen gleich groß (Zeitsch. 8. 90). Der Schlag einer Volta'schen Säule kann durch mehrere Personen, die sich mit feuchten Händen fassen, geleitet werden; an wunden Stellen ist die Affection besonders schmerzhaft. Wenn die Säule sehr stark ist, so wirkt sie schon auf die Finger, wie ein heißer Körper. Diese Schläge sind bei derselben Säule stärker, wenn man zuerst ein Stück Metall anfaßt und mit diesem die Pole berührt, wahrscheinlich, weil da auch die Berührungsfläche größer ist. Uebrigens richtet sich die Stärke der Stöße vorzüglich nach der Anzahl der Plattenpaare, aus denen die Säule besteht, mithin nach der Intensität des Stromes, und wächst mit dieser. Bei einer Säule von 10—20 Platten bekommt man schon einen geringen Schlag; großplattige Apparate wirken hierin fast wie die mit kleinen Platten, denn die größte, bekannte Säule, welche Children erbaute, und die aus 20 Doppelplatten von 6 F. Länge und $2^1/_3$ F. Breite bestand, äußerte auf den menschlichen Körper keine größere Wirkung, als eine Säule von eben so vielen, kleinen Platten. Eine Säule von 10 Elementen, mit Platten, deren jede 4 Q. Fuß hatte, wie sie das hiesige Museum besaß, gab gar keinen wahrnehmbaren Schlag. Eine Zambonische Säule gibt nie einen bemerkbaren Stoß.

358. Der electrische Strom erzeugt in einem thierischen Körper eine Contraction und Expansion der Muskelfasern, durch welche höchst wahrscheinlich erst die eigenthümliche Empfindung, welche den electrischen Stoß begleitet, hervorgebracht wird. Von dieser Wirkung überzeugt man sich am leichtesten mittelst der Hinterschenkel eines jüngst getödteten Frosches, von denen man die Haut abgezogen hat. Leitet man durch diese Schenkel einen elect. Strom, der sich auch nicht durch den geringsten Stoß mehr zu erkennen gibt; so treten in denselben Zuckungen ein, und zwar nach Maßgabe der größeren oder kleineren Vitalität des Thieres und der Richtung des Stromes, wie die vorher erwähnten Erschütterungen, entweder beim Schließen und Oeffnen der Kette, oder nur bei ersterem oder bei letzterem allein. (Marianini in Zeitsch. 5. 438; Nobili ebend. 8. 230; 9. 110; Matteucci ebend. 9. 486.) Da schon die kleinste einfache Kette solche Contractionen bewirkt, wie z. B. wenn man mit einem Kupferstücke den Muskel eines Schenkels, mit einem Zinkstücke den Nerv desselben berührt, und die Metalle selbst mit einander in Berührung setzt; so ist ein Froschschenkel ein ungemein empfindliches Prüfungsmittel für einen electrischen Strom: er war sogar die erste Veranlassung, die zur Entdeckung der Contactelectricität führte. Nimmt man einen sehr langen Leitungsdraht, so kann man beim Oeffnen der Kette selbst am menschlichen Körper durch ein einziges Element Zuckungen hervorbringen, besonders, wenn jener Draht spiralförmig gewunden ist. Auch Vegetabilien sind für den electrischen Strom empfindlich.

Giulo hat mittelst einer Säule von 50 Elementen an Mimosa pudica, mimosa sensitiva und asperata Bewegungen hervorgebracht; Starke Ströme desorganisiren die Pflanzen.

Alois Galvani, ein berühmter Arzt und Lehrer der Physik zu Bologna, hatte von ungefähr entdeckt, daß ein Frosch, dem die Haut abgezogen war, und der überhaupt gar kein Zeichen des Lebens mehr von sich gab, in convulsivische Bewegungen gerieth, wenn er in eine electrische Atmosphäre kam, während man dem electrischen Körper Funken entzog, und zugleich den Frosch mit einem Leiter der Electricität berührte. Er wollte diesem Einflusse der E weiter nachspüren, und bereitete sich zu diesem Zwecke Frösche, indem er sie tödtete, ihnen die Haut abzog, und die Cruralnerven entblößte. Einst hing er solche Frösche mittelst kupferner Haken an eine eiserne Terrasse auf, und fand, daß die Füße plötzlich zu zucken anfingen, wenn sie das Eisen berührten. Galvani widmete dieser Erscheinung eine besondere Aufmerksamkeit, und fand, daß man diese Zuckungen am leichtesten hervorbringen könne, wenn man Muskel und Nerv zugleich mit verschiedenen Metallen berührt, die Metalle aber selbst mittelst eines guten Leiters der E in Verbindung setzt, daß sie aber alsogleich ausbleiben, wenn man statt der Metalle einen schlechten Leiter anwendet. Dieses mit obiger Erfahrung zusammen gehalten, brachte ihn auf die Meinung, daß durch gleichzeitiges Berühren der Muskeln und Nerven eine darin enthaltene E in Umlauf gesetzt werde, und daß dadurch eine Entladung erfolge. Volta wiederholte dieselben Versuche mit kritischem Blicke, und fand sich durch die dabei Statt findenden Erscheinungen veranlaßt, die Sache umzukehren, und anstatt die Metalle als bloße Leiter und den animalischen Körper als Erreger der E anzusehen, erstere als Erreger der E und letzteren als bloßen Ableiter derselben zu betrachten. Dazu vermochte ihn besonders der Umstand, daß die Zuckungen an einem Frosche sehr schwach ausfallen, wenn er mit gleichartigen Metallen berührt wird, und daß sich zwei isolirte Metallplatten, wovon eine aus Zink, die andere aus Kupfer besteht, während und nach ihrer Berührung mittelst des Condensators electrisch zeigen. — Einem Froschschenkel ähnlich verhalten sich auch die Organe anderer jüngst verstorbenen Thiere, ja man wollte sogar aus dem Eintreten oder Unterbleiben der Contractionen bei der Berührung mit einer einfachen Kette den Scheintod vom wahren Tode unterscheiden. Man hat über diesen Gegenstand viele Versuche bei hingerichteten Verbrechern angestellt und merkwürdige Erscheinungen hervorgebracht; Aldini bewirkte durch eine Volta'sche Säule an einem solchen Leichname eine heftige Bewegung der Füße, die Augen öffneten sich und schlossen sich wieder, Mund, Backen und das ganze Gesicht verzerrte sich heftig. Ure brachte gar an einer solchen Leiche den Athmungsproceß wieder in Gang, doch hörte derselbe mit dem electrischen Strome wieder auf. Ein erst getödtetes Schaf kann durch den electrischen Strom in convulsivische Bewegungen versetzt werden, die den Anfällen von Epilepsie gleichen. Eine ausgerissene Krebsschere, durch die dieser Strom geht, zwickt heftig zusammen; eine an einen Tisch angenagelte Ochsenzunge zieht sich, wenn man E durch sie leitet, so stark zusammen, daß sie den Nagel auszieht. Legt man auf eine Zinkscheibe ein Silberstück und darauf einen Blutegel, so zeigt dieser kein Unwohlseyn, so lange er nur das Silber berührt; so wie er aber darüber hinaus auf das Zink kommt, prallt er wie vom Schmerz getroffen plötzlich zurück.

359. Der electrische Strom einer Volta'schen Säule afficirt die **Sinne** auf eine eigene, höchst merkwürdige Weise. Berührt man ein Augenlied, das man vorher naß gemacht hat, mit einem, das andere mit einem anderen Metalle; so bemerkt man in dem Augenblicke, wo diese Metalle unter sich in Berührung gebracht werden, einen Lichtschein. Mit einer Säule von 20—30 Elementen erreicht man dieses schon, wenn man einen Pol derselben mit der Hand berührt, den anderen aber mittelst einer Metallstange mit irgend einem Theile des Gesichtes in Verbindung bringt. Schließt man den Kreis einer Säule von 30—40 Elementen durch die Ohren, indem man die von den Polen kommenden Leitungsdrähte wie Sonden in die Gehörgänge steckt; so erhält man eine starke Erschütterung im Kopfe, und empfindet zugleich ein besonderes Geräusch. In der Nase soll der negative Pol, nach **Ritter**, ein Niesen erregen, der positive eine Abstumpfung der Empfindlichkeit hervorbringen. Auf der Zunge erzeugt der positive Pol einen sauren, der negative einen alkalinischen Geschmack. (Lehrbuch des Galvanismus rc. von Fechner. Leipzig 1829. S. 485 u. f.)

360. Die Electricität kann sich in einem guten Leiter ohne die mindeste Spur einer Lichterscheinung fortpflanzen; aber freie, an keinen Stoff gebundene Electricität erscheint **leuchtend**. Der elect. **Funke**, welcher in der Luft von einem Körper in den anderen übergeht, ist demnach freie strömende Electricität; denn er durchbohrt gleichsam die Luft und drückt sie zusammen, wie man leicht durch einen Versuch zeigen kann, den man mittelst des Apparates Fig. 333 anstellt. Dieser Apparat stellt gleichsam ein Communicationsgefäß mit Quecksilber vor, wovon ein Arm geschlossen ist, und die zum Ueberschlagen eines electrischen Funkens durch die Luft in diesen Arm nöthige Einrichtung hat. So wie der Funke überschlägt, sieht man das Quecksilber im engeren, offenen Arme steigen, zum Beweise, daß die E nicht durch die Masse der Luft gegangen sey, sondern dieselbe beseitiget habe. Ein electrischer Funke findet immer nur zwischen zwei einander gegenüberstehenden Körpern Statt, seine Länge bestimmt das, was man Schlagweite nennt. Er richtet sich nach der Natur, Größe und Gestalt der Leiter, nach dem Mittel, in welchem er Statt findet und nach der Intensität der E. Da dem Uebergange der E von einem Körper in einen anderen durch ein schlecht leitendes Mittel immer eine Electrisirung des letzteren durch Vertheilung vorausgeht, und diese desto stärker seyn muß, je besser jener leitet; so wird in demselben Grade auch das Bestreben der zwei entgegengesetzten E, das Zwischenmittel zu durchbrechen und einen electrischen Funken zu erzeugen, und daher auch die Schlagweite zunehmen. Aus dem Vorhergehenden und aus dem Einflusse der Gestalt der Körper auf die Anordnung der E kann man die Verschiedenheit der electrischen Lichtphänomene vollkommen begreifen. Der Conductor einer Electrisirmaschine gibt desto längere Funken, je stärker seine electrische Spannung, je mehr gekrümmt, und je reiner (spitzenfreier) seine Oberfläche ist. Aus einer kleinen, auf den Conductor aufgesetzten Kugel kann man längere Fun-

ken ziehen als aus dem Conductor selbst. In eine hölzerne (nicht vorzüglich gut leitende) Kugel gehen ganz kurze Funken über, längere in eine messingene, besonders wenn dieselbe klein und mit der Erde leitend verbunden ist; eine Spitze erhält die E schon aus einer sehr großen Entfernung ohne merklichen Funken. Je mehr man die Luft verdünnt, desto weiter schlägt der Funke über; je mehr man sie verdichtet, desto kürzer wird er. In einer Glasröhre, worin man die Luft sehr stark verdünnt hat, kann man selbst mit einer mittelmäßigen E Maschine 3 F. lange Funken erhalten, während in der Luft zu 12zolligen Funken eine besonders gute Maschine gehört. Der positive Funke ist stets länger als der negative, wahrscheinlich, weil unsere Maschinen für die Ansammlung der + E günstiger construirt sind, als für jene der — E. Die Schlagweite einer Leidnerflasche oder einer electrischen Batterie ist immer der Dichte der angehäuften E proportional. Die Funken einer Volta'schen Säule sind immer nur sehr kurz, weil auch die Spannung der E einer solchen im Vergleiche mit jener einer E Maschine nur sehr gering ist. Es gibt zwar schon ein einziges Element von 1 Q. Fuß Oberfläche einen kleinen Funken; dieser wird bei übrigens gleichen Umständen desto stärker, je mehr solche Elemente zu einer Batterie zusammengesetzt werden; aber selbst die große Batterie der Royal-Institution, die aus 2000 Doppelplatten von 32 Q. Zoll Oberfläche bestand, gab dem berühmten Davy nur 1/30 Zoll lange Funken, und erst als man die Luft zwischen den Enden der Polardrähte stark verdünnt hatte, wuchs ihre Länge auf 4 Zoll. Mittelst eines sehr langen (am besten spiralförmig zusammengewundenen) Polardrahtes erhält man die stärksten Funken (Nobili in Pogg. Ann. 27. 436). Daß ein solcher beim Oeffnen einer Kette eben sowohl wie beim Schließen derselben eintreten müsse, ist für sich klar. Doch kann letzterer durch Umstände, welche den ersteren nicht afficiren, bedeutend verstärkt werden. Merkwürdig ist es, daß man von einem Volta'schen Elemente bei gehöriger Vorsicht schon beim Schließen der Kette die das Element constituirenden Metalle, und zwar bevor sich diese Metalle berühren, einen Funken erhält. An trockenen Säulen hat man noch keine Funken wahrgenommen. Kurze Funken erscheinen gerade, lange hingegen zickzackförmig, wahrscheinlich, weil sie die Luft vor sich verdichten, und den verdichteten Schichten seitwärts ausweichen wollen.

361. Die Farbe des elect. Funkens richtet sich nach der Dichte und Leitungsfähigkeit des Mittels, nach der Stärke der elect. Spannung und nach der Natur der Körper, die den Funken geben und aufnehmen. Durch ein dreiseitiges Glasprisma betrachtet, zeigt der electrische Funke ein lebhaftes Farbenbild; Fraunhofer fand im Spectrum des gewöhnlichen electrischen Funkens viele helle Querlinien, und Wheatstone überzeugte sich, daß diese Linien verschieden sind, je nach der Natur des Metalles, aus welchem der Funke gezogen wurde; das Medium des Funkens hat darauf keinen Einfluß, und das electrische Licht ist von dem eines verbrennenden Metalles wesentlich verschie-

den. (Wheatstone in Pogg. Ann. 36. 148.) Beachtenswerth ist die von Fusinieri gemachte Beobachtung, daß durch den electrischen Funken ponderable Stoffe in einem sehr fein zertheilten Zustande übertragen werden. So z. B. bemerkte er, als er zwischen einer goldenen und einer silbernen Kugel, deren jede mit einer Belegung einer Batterie in Verbindung stand, eine blanke Silberscheibe aufstellte, und die Batterie durch sie entlud, auf jeder Seite dieser Scheibe einen vergoldeten Fleck. (*Giornale di Fisica* ꝛc. 1825. *Bim. VI.* 450.) Der electrische Funke einer Electrisirmaschine hat immer eine violette Stelle, die dunkler ist als der übrige Theil. Uebrigens bildet ein electrischer Funke nicht ein ununterbrochenes Ganzes, wenn er auch dem freien Auge so erscheint. Mittelst eines schnell rotirenden, gegen die Drehungsaxe geneigten Planspiegels kann man sich von der Intermittenz der meisten continuirlich erscheinenden electrischen Lichtphänomene überzeugen.

In verdichteter, atmosphärischer Luft ist der Funke einer Electrisirmaschine sehr lebhaft, im Kohlensäuregas weiß und intensiv, im Wasserstoffgas roth und schwach, in Wasserdünsten gelb, in Alkohol- und Aetherdünsten seladongrün. Geht der Funke von Metall in Metall über, so ist er meistens weiß, nimmt ihn eine Hand auf, violett; ein in Wasser überschlagender Funke ist roth. Manche Farbenverschiedenheit scheint von der Intensität der E abzuhängen, denn selbst unter denselben Umständen ändert sich die Farbe, wenn sich die electrische Spannung ändert. (Schweigg. J. 3. 145.) Auf den Gesetzen der electrischen Lichterscheinungen beruhen mehrere electrische Apparate, z. B. die electrische Spirale, die electrische Illumination; das Leuchten der Barometer hat auch darin seinen Grund. Einige Physiker wollen an der Gestalt des Funkens einen Unterschied bemerkt haben, je nachdem er aus einem positiv oder aus einem negativ electrischen Körper kommt. (Dove's Repert. 2. 42.)

362. Der Uebergang eines starken Funkens durch die Luft ist immer von einem eigenthümlichen Schalle begleitet, den sich jeder leicht erklären kann, welcher weiß, daß die E die Luft durchbohre, sie zusammendrücke, und hinter sich einen leeren Raum zurücklasse. Kleine Funken, wie sie eine Volta'sche Säule gibt, verursachen nur ein Knistern, die Funken aus dem Conductor einer kräftigen Maschine erregen schon ein Krachen, und der verstärkte Funke einer Leidnerflasche einen förmlichen Knall.

363. Den Phänomenen des electrischen Lichtes sind jene Wirkungen des electrischen Stromes analog, durch welche Körper durchscheinend oder phosphorescirend werden. Steckt man in einen Apfel zwei Leitungsdrähte so, daß sie in dessen Innerem nicht weit von einander abstehen, und leitet dann einen Schlag durch sie; so erscheint der Apfel durchscheinend. Dasselbe kann man mit Tannenholz, Eiern ꝛc. machen. Leitet man einen Funken über ein Stück Kreide, so zeigt sich nach der Explosion ein Lichtstreifen auf demselben. Etwas Aehnliches bewirkt man durch einen Schlag, den man über Zucker, Schwerspath, calcinirte Austerschalen ꝛc. leitet. Körper, wie z. B. Flußspath, welche durch Calciniren die Eigenschaft eingebüßt

haben, nach der Erwärmung im Dunkeln zu leuchten, bekommen dieselbe wieder, wenn man electrische Schläge über sie leitet, selbst wenn sie von der E nicht unmittelbar berührt werden; ja selbst solche Körper, die von Natur aus nicht geeignet sind, durch Erhitzung zur Phosphorescenz gebracht werden zu können, nehmen durch Wärme Phosphorescenz an, wenn man electrische Schläge über sie geleitet hat. Oft phosphorescirt ein Körper, der diese Eigenschaft schon von Natur aus hat, nach dem Behandeln mit electrischen Strömen in einer anderen Farbe als vorher. (Pearsoll in Zeitsch. 9. 234; 10. 110. Heinrich über Phosphorescenz der Körper. Nürnberg 1811 und 1812.)

364. Der electrische Funke hat erwärmende Kraft, durch die er nicht bloß das Thermometer steigen macht, sondern auch brennbare Körper anzuzünden vermag. Schon der vom Conductor einer Electrisirmaschine, vom Electrophor oder von einer Volta'schen Säule kommende Funke entzündet Knallluft (electrische Pistole, Zündmaschine), Schwefeläther, Colophoniumstaub, Phosphor ꝛc., um so leichter bewirkt dieses der verstärkte Funke einer Leidnerflasche; doch muß manchmal, wie z. B. beim Anzünden des Schießpulvers, der electrische Strom durch einen in die Kette gebrachten minder guten Leiter (z. B. durch nassen Spagat) verzögert werden. Gießt man in ein konisches Metallgefäß eine geringe Menge einer Salzauflösung, setzt das Gefäß mit einem Pole einer kräftigen Volta'schen Säule in Verbindung und taucht eine Metallkugel in die Flüssigkeit, welche mit dem anderen Pole der Säule communicirt; so kommt die Salzlösung schon nach wenigen Minuten zum Sieden.

365. Der electrische Strom wirkt auch auf jeden Körper, in welchem er Widerstand erfährt, erwärmend. Nach Peltier bringt jeder electrische Strom, er mag auch noch so schwach seyn, in dem Körper, durch den er geht, z. B. in einem Metalldrahte, eine Temperaturänderung hervor, und diese ist von der Länge des Drahtes unabhängig, und soll sich bloß nach der Quantität der strömenden E richten. Bei übrigens gleichen Umständen ist diese Temperaturänderung durch schwache Ströme an den Stellen, wo zwei ungleichartige Metalle zusammengelöthet sind, stärker als an anderen, und es ist in dieser Beziehung nicht gleichgültig, in welcher Richtung die E den Leiter durchströmt. Diese Temperaturänderung besteht wohl in der Regel in einer Erwärmung, aber an der Löthstelle zweier krystallisirten Metalle tritt oft eine Erkältung ein, wenn der Strom die gehörige Richtung und Stärke hat (Dove's Repert. 1. 349). Es kann aber derselbe Strom, wenn er nach einer Richtung geht, Erwärmung, nach der entgegengesetzten Richtung aber Erkältung erzeugen. Starke Ströme, wie sie ein großes Volta'sches Element, eine Volta'sche Säule, eine Electrisirmaschine ꝛc. geben, bewirken immer in dem Körper, worin sie fortströmen, eine Temperaturerhöhung, die bis zum Glühen, Schmelzen und Verflüchtigen des Leiters steigen kann. Legt man auf weißes Papier einen Streifen Blattgold, und leitet den Schlag einer Leid-

[illegible] durch ihn, so verschwindet das Metall mit einem Blitz; legt man einen solchen Streifen zwischen zwei Glasplatten, bringt sie in eine kleine Presse, und leitet dann den verstärkten Funken durch, so findet man das Metall ins Glas eingeschmolzen. Leitet man einen starken Schlag durch dünnen Eisendraht, so erglüht dieser, und wird in kleine feurige Kügelchen zerstiebt. Je stärker die Ladung der Flasche und je dünner der Draht ist, und je weniger der Strom durch Hindernisse geschwächt wird, desto größer ist die Wärmeentwicklung. Nach Harris bewirkt dieselbe Electricitätsmenge, sie mag was immer für eine Intensität haben, stets dieselbe Erhitzung. Leicht oxydirbare Metalle werden zwar beim Schmelzen durch den electrischen Strom fast immer zugleich oxydirt, aber die schwer oxydirbaren, wie z. B. Silber, Gold, brauchen dazu besonders starke Batterien. Jedes Metall gibt da ein Oxyd von besonderer Farbe, aus der man fast immer wieder das Metall selbst errathen kann. Nach den gründlichen Untersuchungen von Rieß hängt die Erwärmung, welche die E einer Batterie in einem Schließungsdrahte hervorbringt, immer von dem Widerstande, die der Strom erfährt, oder wie Rieß sich ausdrückt, von der Verzögerungskraft des Schließungsdrahtes ab, und wird gefunden, wenn man diese seine Verzögerungskraft durch seine Wärmecapacität und sein spec. Gewicht dividirt. Auch das Mittel, worin sich ein Leitungsdraht befindet, hat auf dessen Erwärmung durch E einen großen Einfluß, und es wird ein Draht, der, wenn er in Aether getaucht ist, durch einen Strom kaum warm wird, durch denselben glühend gemacht, wenn ihn Luft umgibt, und gar geschmolzen, wenn er sich im leeren Raume befindet. (Davy in Gilb Ann. 71. 246.)

Rieß hat durch sorgfältige Versuche die Verzögerungskraft x, und das Erwärmungsvermögen y nachstehender Metalle so gefunden, wie es die beigesetzten Zahlen angeben. Die Größe $\frac{1}{x}$ ist das, was man sonst Leitungsfähigkeit zu nennen pflegt:

	x	y	$\frac{1}{x}$
Silber	1043	1267	148.74
Kupfer	1552	1133	100
Gold	1746	2112	88.87
Cadmium	4047	—	38.35
Messing	5602	3861	27.70
Palladium	8535	—	18.18
Eisen	8789	7080	17.66
Platin	10000	10000	15.52
Zinn	10530	15700	14.70
Nickel	11800	8727	13.15
Blei	15030	28760	10.32
Neusilber	17520	—	8.86

(Rieß in Pogg. Ann 40. 321; 43. 47; 45. 1.)

366. Die Kraft des Stromes einer Volta'schen Säule, Metalldrähte glühend zu machen und zu verbrennen, richtet sich mehr nach der Größe als nach der Anzahl ihrer Plattenpaare. Eine Zinkplatte

von einem Quadratzoll Oberfläche, die mit einer ununterbrochenen Kupferplatte zu beiden Seiten umgeben ist, und mit dieser durch einen sehr kurzen und feinen Platindraht in Verbindung steht, erregt ein Glühen des letzteren, wenn sie in eine verdünnte Säure getaucht wird (Wollaston's Feuerzeug). Säulen mit großen Platten erregen aber dieses Phänomen in einem erstaunlichen Grade. Children's Apparat macht einen Platindraht von $1/_{20}$ Zoll Dicke und 18 Zoll Länge, der als Polardraht gebraucht wird, so hell glühend, daß man den Lichtglanz kaum ertragen kann, und schmilzt ihn endlich gar. Wurde im oben genannten Apparate der Royal-Institution eine Kohle von 1 Zoll Länge und $1/_6$ Zoll Dicke in die Kette gebracht, und die Polardrähte auf $1/_3$ Zoll genähert; so begann mehr als die Hälfte davon schnell zu glühen, und man konnte hierauf, begünstigt durch die große Leitungsfähigkeit der durch Hitze verdünnten Luft, die Enden zweier solcher Kohlen 4 Zoll weit von einander entfernen, ohne die Entladung durch die Luft zu unterbrechen, ja es bildete sich da ein ungemein glänzender, nach oben gekrümmter Lichtbogen, der jede Substanz, welche man dazwischen brachte, schmolz, und selbst Quarz, Saphir, Kalk verflüchtigte. An Children's Apparat war die Wärmeerregung so groß, daß man damit Metalle schmelzen konnte, welche im Ofenfeuer völlig unschmelzbar sind, wie z. B. Iridium. Eine Volta'sche Säule kann aber nur einen Draht von bestimmter Dicke glühend machen; je dicker dieser Draht ist, desto stärker muß der electrische Strom seyn, um ein Erglühen desselben zu bewirken. Auch die Natur des Drahtes hat darauf großen Einfluß. Ein Strom, der einen Silberdraht ohne Erhitzung desselben durchströmt, bringt einen Draht zum Glühen, der aus abwechselnden Silber- und Platinstücken besteht. Dieser Umstand deutet darauf hin, daß die Wärme durch den electrischen Strom nicht wie bei einer Compression gleichsam ausgetrieben (ausgedrückt), sondern erzeugt werde. (*Ann. de Chim.* 40. 371.)

367. Der electrische Strom sucht die kleinsten Theile der Körper, durch die er geht, von einander zu trennen, und diese seine Kraft ist oft groß genug, um die Molecularkraft zu überwältigen. Schlechte Leiter, deren Masse die E überhaupt nicht zu durchdringen vermag, werden oft von derselben zerrissen. Die Uebertragung metallischer Theile durch den electrischen Funken, wie sie Fusinieri bemerkt hat, rührt ohne Zweifel von der die Molecülaranziehung überwältigenden Kraft der E her. Leitet man einen starken electrischen Strom mittelst zweier, etwas von einander abstehenden Drähte durch die Aushöhlung eines kleinen Mörsers, den man mit einem Korkpfropfe verschlossen hat; so wird der Pfropf mit Gewalt herausgetrieben. Papier, Holz, Glas &c. durchbohrt er. Dieses geschieht auch oft an Leidnerflaschen, die sich selbst durch die Glaswände entladen. Die Geschwindigkeit des Stromes ist so groß, daß selbst ein frei hängendes Goldblatt durchbohrt werden kann. Wird der Strom einer Leidnerflasche mittelst zweier Dräthe, die durch eine mit Wasser gefüllte Glasröhre gehen, und in

derselben etwa $^1/_2$ Zoll von einander abstehen, durch das Wasser geleitet, so zersprengt er das Glas. Die ausdehnsame Kraft der E ist so groß, daß durch einen Schlag, den man durch einen Wassertropfen leitet, der in einer Glaskugel mit 1 Zoll dicken Wänden eingeschlossen ist, die Kugel in Stücke zerrissen wird. Der Funke einer Volta'schen Säule vermag keine so großen, mechanischen Wirkungen hervorzubringen.

368. Zu den wichtigsten Wirkungen electrischer Ströme gehören die chemischen Zersetzungen. Sie werden hervorgebracht, indem man den electrischen Strom durch den zu zersetzenden Körper leitet. Nach der gewöhnlichen Art, solche Versuche anzustellen, wird der betreffende Körper so in den electrischen Kreis eingeschoben, daß die positive E nach einer, die negative nach der entgegengesetzten Richtung durch ihn strömen muß. Um mit gemeiner E einen Zersetzungsversuch zu machen, bringt man den zu zersetzenden Körper zwischen die Spitzen feiner Platindrähte, und leitet die E durch ihn, mit der Vorsicht, daß kein Funke über ihn oder nebenvorbei schlage, weil dieser in der Luft Salpetersäure bilden würde, setzt dann den Conductor der Maschine mit einem, die Reibzeuge mit dem anderen Drahte in leitende Verbindung, und dreht die Maschine. Bringt man auf solche Weise ein Stück Lackmuspapier, verbunden mit einem Stücke Curcumapapier, beide mit einer Glaubersalzlösung befeuchtet, zwischen die beiden Drähte, so zeigen sich schon nach wenigen Umdrehungen der Scheibe an der Eintrittsstelle der positiven E Spuren von Säure, an der Eintrittsstelle der negativen E Spuren von Alkali, zum Beweise, daß das Glaubersalz zersetzt worden, und einer der zwei Bestandtheile am positiven, der andere am negativen Pole aufgetreten sey. Auf ähnliche Weise werden mit der Volta'schen Säule Zersetzungsversuche gemacht. Soll z. B. mit einer solchen Wasser zersetzt werden; so leitet man von jedem Pole der Säule einen Gold- oder Platindraht in das Wasser, so, daß die Enden der Drähte eine dünne Wasserschichte zwischen sich haben. Es ist räthlich, besonders, wenn man es mit schwachen electrischen Strömen zu thun hat, Polardrähte von sehr ungleicher Stärke zu nehmen. Da bemerkt man alsogleich eine Luftentwicklung, und findet, wenn man die Luftblasen auffängt, am positiven Pole Sauerstoffgas, am negativen Wasserstoffgas, und zwar genau in dem Verhältnisse, wie sie im Wasser vorhanden sind, vorausgesetzt, daß man dasselbe vor dem Versuche gut von Luft gereiniget, und auf jenen Theil der Gase Rücksicht genommen hat, der beim Versuche absorbirt wird. Dieser Umstand hat dem positiven Pole der Volta'schen Säule auch den Namen Sauerstoffpol, dem negativen den Namen Wasserstoffpol zugezogen. Braucht man zum Leitungsdraht am positiven Pole ein oxydirbares Metall, so erscheint an demselben kein Sauerstoff, dafür oxydirt sich aber der Leitungsdraht daselbst. So wie Wasser werden auch Säuren, Salze rc. zersetzt, und es wandert immer einer der ausgeschiedenen Bestandtheile zu einem, der andere zum zweiten Pole. Dadurch characterisirt sich

diese Zersetzung vorzüglich, und unterscheidet sich von jeder gewöhnlichen, wo die Zersetzungsproducte vermengt zum Vorscheine kommen, wenn sie auch von Electricität herrührt. Indeß kann nicht jeder Körper durch den electrischen Strom zersetzt werden, oder nach Faraday's Terminologie, es ist nicht jeder Körper ein Electrolyt, und derjenige, welcher es ist, fordert dazu einen Strom von bestimmter Intensität, deren Größe aber nicht von der Verwandtschaft der zu trennenden Bestandtheile abhängt. Daß nur Leiter der E Electrolyte seyn können, ist für sich klar. Die Bestandtheile, in welche ein Electrolyt zerlegt wird, heißen Jonen. Den bis jetzt gemachten Erfahrungen zu Folge sind alle chemisch einfachen Stoffe, mit Ausnahme von Kohle, Phosphor, Stickstoff, Bor und Aluminium, Jonen. Von zusammengesetzten Körpern, die aus denselben Elementen bestehen, kann nur einer zu den Jonen gehören. Auf Seite 544 sind die bis jetzt bekannten Jonen aufgezählt.

Ungeachtet man bei Zersetzungsversuchen in der Regel den positiven und den negativen E Strom zugleich wirken läßt, so ist dieses doch nicht unumgänglich nothwendig, sondern es reicht dazu schon der einfache positive oder negative langsam abfließende Strom allein hin. So z. B. gelingt obiger Versuch mit gemeiner E eben so gut, wenn man nur einen Draht mit dem Conductor verbindet, und den anderen in die Erde gehen läßt. Mit einer Volta'schen Säule läßt sich ein solcher Versuch nicht wohl anstellen, weil ihr einfacher Strom zu schwach ist; doch ist es gestattet, anzunehmen, derselbe würde auch gelingen, wenn man im Stande wäre, den einfachen Strom hinreichend zu steigern. Wo immer zwei heterogene Körper sich berühren, entsteht eine galvanische Kette, die durch einen dritten Körper ausgeladen wird, und chemische Wirkungen erzeugt. So schmeckt Wein aus einer zinnernen Kanne anders als aus einem gläsernen oder thönernen Gefäße, weil hier die Flüssigkeit der Lippen und der Wein eine Kette bilden, die durch das Zinn entladen wird; Kupferplatten mit eisernen Nägeln zusammengenagelt gehen bald zu Grunde; gelöthete Gefäße werden zuerst an den Löthstellen matt; Quecksilber mit einem anderen Metalle gemischt, oxydirt sich leichter, als wenn es rein ist; bleierne, kalkführendes Wasser enthaltende Röhren werden nur an jenen Stellen durch abgesetzten Kalk verstopft, wo sie zusammengelöthet sind.

369. Die durch electro-chemische Zersetzung frei gewordenen Stoffe erscheinen, wie gesagt, immer an den Stellen, wo die beiden E in den zersetzbaren Körper eintreten. Gewöhnlich befinden sich dort auch die Pole, doch ist dieses nicht nothwendig, wie folgender Versuch zeigt: Man theile die obere Hälfte eines Glasgefäßes A (Fig. 334) durch eine Glimmerplatte in zwei Abtheilungen a und b, fülle in dasselbe eine starke Lösung schwefelsaurer Bittererde ein, bis sie etwa 1 Zoll über den unteren Rand der Scheidewand reicht; und gieße dann in eine Abtheilung auf die Salzlösung behutsam eine Schichte Wasser. Taucht man nun in die bloß Salzlösung enthaltende Abtheilung b den positiven, in die andere a den negativen Polardraht, letzteren aber so, daß er nicht bis zur Salzlösung hinabreicht; so wird alsogleich eine Blasenentwicklung eintreten, und die Salzlösung zersetzt werden. Aber die an der Seite des negativen Poles frei werdende Bittererde häuft

sich nicht am Pole an, sondern bleibt an der Grenzfläche vom Wasser und der Salzlösung. Vertheilt man die zu zersetzende Flüssigkeit, z. B. eine wässerige Glaubersalzlösung, in mehrere Gefäße A, B, C (Fig. 335), stellt dieselben in eine Reihe zusammen, verbindet sie mit einander leitend durch angefeuchtete Asbestfäden, und taucht dann die Polardrähte e und f in die zwei äußersten Gefäße; so findet auch nur in diesen ein Freiwerden der Bestandtheile des zersetzbaren Stoffes Statt. Wenn man aber statt des Asbestes Draht nimmt, so bemerkt man an jedem Ende desselben electrolytische Wirkungen, und es scheidet sich in diesem Falle in e, b, d Säure, in a, c, f Alkali aus. Wenn man, während a b und c d mit Salzlösung getränkte Asbestfäden sind, das mittlere Gefäß B mit Veilchensyrup füllt, so bemerkt man daran keine Spur der Einwirkung einer Säure oder eines Alkali, ungeachtet man annehmen zu müssen glaubt, es werde die Säure von a nach b, das Alkali von d nach c übergeführt. Trennt man eine flüssige Säule, welche durch einen electrischen Strom zersetzt werden kann, durch dazwischengestellte Platten aus nicht leicht oxydirbarem Metalle, und läßt dann den Strom durchziehen, so setzt sich auf einer Seite jeder Scheidewand das eine, auf der anderen das andere Zersetzungsproduct ab. Solche Scheidewände schwächen aber immer den Strom, und zwar desto mehr, je weniger Verwandtschaft das Metall der Wand zum Sauerstoffe hat. Ein Strom, der bereits durch mehrere derlei Scheidewände gegangen ist, erleidet beim ferneren Durchgange durch noch mehrere solche Diaphragmen eine viel geringere Schwächung, als ein solcher, der noch keinen Widerstand der Art zu überwältigen hatte. Man kann nicht umhin, hierin an das ähnliche Verhalten der Licht- und Wärmestrahlen erinnert zu werden. Weil die frei gewordenen Stoffe, in der Regel, an den Polen erscheinen, so war man lange der Ansicht, diese Pole wirken anziehend auf den einen, abstoßend auf den anderen Bestandtheil des Electrolyten. Allein diese Ansicht ist nicht zulässig, weil schon durch Wirksamkeit eines einzigen Stromes Zersetzungen eintreten (368), die Ablagerung der Zersetzungsproducte nicht nothwendig an den Polen Statt haben muß, und endlich, weil die Zersetzung und Fortführung der Bestandtheile nicht von der chemischen Verwandtschaft der anwesenden Substanzen allein abhängig ist, und oft derlei Ueberführungen gerade bei kräftigern Verwandtschaften der Bestandtheile eines Körpers in höherem Maße Statt finden als bei geringeren. So z. B. hat Faraday gefunden, daß, wenn verdünnte Schwefelsäure und eine solche Quantität einer wässerigen Glaubersalzlösung, welche eben so viel Säure enthielt, durch denselben electrischen Strom zersetzt wurden, von ersterer $2^1/_2$—3mal weniger von einem Pol zum anderen fortgeführt wurde als von letzterer, ungeachtet die Verwandtschaft der Schwefelsäure zum Natrum viel größer ist als zum Wasser. Ueberhaupt geht aus Allem hervor, daß die Pole einer geschlossenen Kette nur die Thore sind, durch welche die E einem Körper zugeführt wird, und daß das Freiwerden der Stoffe und ihr Wandern an einen be-

stimmten Ort nicht wesentlich von einer äußeren Kraft herrühre, sondern davon, daß die Verwandtschaften der Körper durch die E, als einer nach entgegengesetzten Richtungen gleich stark, aber entgegengesetzt wirkenden Kraft, so abgeändert werden, um in einer Richtung stärker als in einer anderen wirken zu können.

Ist A (Fig. 336) der positive, B der negative Pol einer Kette, zwischen welchen sich ein Körper befindet, dessen chemische Bestandtheile a und b sind, so wird durch den electrischen Strom die Affinität der Theilchen a zu b in der Richtung AB vermindert, in der Richtung BA hingegen vermehrt. Das Theilchen a', welches in der Richtung BA an b grenzt, und das vor der Einwirkung des electrischen Stromes mit b' verbunden war und im chemischen Gleichgewichte stand, bekommt durch diesen Strom eine größere Verwandtschaft zu b als zu b', trennt sich daher von b' und verbindet sich mit b, so daß demnach a frei und gleichsam abgestoßen wird, während sich a'' mit b' ꝛc. verbindet und nächst B das letzte b (b''), so wie das an A grenzende a aus aller Verbindung tritt. Demnach erfolgt die Fortführung der Stoffe in der electrischen Kette durch eine Reihe von Zersetzungen und Zusammensetzungen in entgegengesetzten Richtungen, bis zu den Grenzen des zersetzbaren Körpers, wo dieselben ausgeschieden werden, weil sie keinen Stoff finden, mit dem sie sich verbinden konnten. Daraus begreift man, wie Leiter, welche die zu zersetzende in mehrere Gefäße vertheilte Flüssigkeit verbinden, selbst gleich Polen erscheinen können, warum am positiven Pole stets eine Oxydation eintritt, falls der Polardraht oxydirbar ist und der zersetzte Körper Sauerstoff enthält.

370. Welcher Bestandtheil eines electrolysirten Körpers an der Eintrittsstelle der positiven, und welcher an der Eintrittsstelle der negativen E erscheint, das hängt von dem chemischen Verhältnisse der Bestandtheile des zusammengesetzten Körpers ab. Sauerstoff erscheint unter allen Umständen an der Eintrittsstelle der + E, andere Körper können aber bald an dieser, bald an der anderen Stelle erscheinen. So z. B. erscheint Schwefel, wenn er aus Schwefelsäure abgeschieden wird, an dem Eintritte der — E, hingegen, wenn er durch Zersetzung der Schwefelleber gewonnen wird, am Eintritte der + E. Im Allgemeinen erscheint bei der Electrolysirung der den Oxyden chemisch gleich gestellten Stoffe, wie z. B. bei den Sulphuriden, Chloriden, Jodiden, Bromiden, Seleniden, Carboniden ꝛc. immer der den Sauerstoff vertretende Körper da, wo + E, der den Wasserstoff vertretende da, wo — E eintritt, und eben so bei electrolysirten Säuren oder Salzen die sauerfähige Grundlage oder die Basis des Salzes an der Eintrittsstelle der — E, das säuernde Princip oder die Säure an der Eintrittsstelle der + E. Ein saures Salz wird zuerst in Säure und Neutralsalz, und erst hierauf das letztere in Säure und Basis zerlegt.

Man kann alle Electrolyte A, B, C, D, ... Z, die mit einander eine Verbindung eingehen, in eine solche Reihe zusammenstellen, daß jeder, wenn er aus einer Verbindung mit einem nachfolgenden durch einen electrischen Strom ausgeschieden wird, am positiven Pole erscheint, wenn er aber einen vorhergehenden verläßt, sich am negativen Pole sammelt.

371. Wenn man den electrischen Strom durch dünne Drähte in die zu zersetzende Flüssigkeit leitet, so hängen sich ihre Bestandtheile, falls sie fest sind, in der Regel an sie an, und bei Anwendung schwacher electrischer Kräfte und besonderer Vorrichtungen, mittelst welcher die Ausscheidungen sehr langsam erfolgen, können sich die frei werdenden kleinsten Theile ganz regelmäßig, eines nach dem anderen anordnen, so daß man auf diesem Wege manchen Körper krystallisirt erhält, der bei keinem anderen Mittel in Krystallform erscheint. (Becquerel in Zeitschr. 6. 351; 8. 93.) Wenn man einen Polardraht in eine ebene, polirte Scheibe ausgehen läßt, während der andere in eine Spitze ausläuft und der Ebene dieser Scheibe senkrecht gegenübersteht; so legt sich meistens das Product der Zersetzung, welches an dem der Scheibe entsprechenden Pole erscheint, in Form concentrischer Kreise an, deren Mittelpunkt der Spitze des anderen Polardrahtes gerade gegenübersteht. Nobili hat diese ringförmigen Ablagerungen mit besonderem Fleiße untersucht. Man bringt sie mit sehr schwachen electrischen Strömen in kurzer Zeit hervor. Essigsaures Kupfer mit Salpeter gemischt, gewährt an einer mit dem negativen Pole verbundenen, polirten Silberplatte eine schöne Erscheinung dieser Art. (Nobili in Zeitsch. 2. 435; 3. 65. Pogg. Ann. 33. 537. Schweigg. J. 54. 40.) Nach Fechner reicht es zur Erzeugung solcher Figuren hin, die in einer essigsauren Kupferoxydlösung befindliche Silberplatte einige Minuten lang mit einem Zinkstäbchen zu berühren. (Schweigg. J. 55. 442.)

372. Die Wirkung zwischen den Polardrähten und den Bestandtheilen der Körper und die durch Electricität begünstigte Verbindung der in der Kette befindlichen Körper bewirkt besondere, oft sehr interessante Bewegungen, die schon vor mehreren Jahren von Erman entdeckt, aber erst in der neueren Zeit von Herschel, Pfaff, Runge u. a. genauer beachtet wurden. Bedeckt man Quecksilber mit einer dünnen Schichte einer leitenden Flüssigkeit, z. B. Schwefelsäure, und setzt die zwei Pole mittelst Platindraht mit dieser in leitende Verbindung, ohne durch sie das Quecksilber zu berühren; so entstehen Strömungen, die nach Umständen bald von einem, bald von beiden Polen ausgehen, bald eine gerade, bald eine krumme Bahn einschlagen, und sich überhaupt nach der Natur des flüssigen Leiters, nach der Reinheit und Menge des Quecksilbers, und nach der Stärke der Adhäsion desselben an das Gefäß, worin es sich befindet rc. richten. Starke Säuren geben auch starke Strömungen, so daß man sie schon mit einer einfachen Kette hervorbringen kann.

In einer sauren Flüssigkeit wird das Quecksilber vom positiven Pole weggetrieben, in einer alkalischen gleichsam angezogen. Berührt bei Anwendung eines Alkali der negative Polardraht das Quecksilber, so plattet es sich ab, es beginnt eine Strömung vom positiven Pole aus, und dauert noch einige Zeit fort, nachdem der Draht zurückgezogen worden; berührt aber der positive das Quecksilber, so erfolgt eine schwache Contraction, das Quecksilber oxydirt sich und wird zähe. Uebergießt man Quecksilber 1/2 L. hoch mit einer gesättigten Kochsalzlösung und legt einen kleinen Kupfervitriolkrystall vorsichtig darauf; so wird das

Quecksilber allmälig matt und überzieht sich mit einer Haut. Berührt man es durch die Salzlauge mit einem Stücke reinen Eisen; so zerreißt die Haut und verliert sich, es beginnen Strömungen, der Krystall vermindert sich zusehends und verschwindet endlich ganz. Eben so geräth ein kleiner Quecksilbertropfen in einer gesättigten Auflösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul in eine heftige rotirende Bewegung, wenn man ihn mit einem reinen Zinkstäbchen berührt, und diese Bewegung hört nicht eher auf, als bis die Bildung des Zinkamalgams vollendet ist. (Schweigg. J. 48. 190. Pogg. Ann. 8. 106; 17. 472.)

373. Nicht alle bei electrolytischen Versuchen frei werdenden Stoffe sind unmittelbare (primäre) Resultate der electro-chemischen Kraft, sondern manche derselben werden erst durch Wirkung der primär ausgeschiedenen Substanzen (Jonen) auf den Polardraht oder auf die im Electrolyte enthaltenen Bestandtheile erzeugt, und sind demnach secundäre Zersetzungsproducte. Wasser ist ein wahrer Electrolyt und seine Jonen sind Wasserstoff und Sauerstoff, wenn man Platin- oder Golddrähte als Polardraht anwendet; wird aber Kohle als solcher gebraucht, so erscheint am positiven Pole statt des Sauerstoffes Kohlensäure und Kohlenoxydgas, offenbar secundäre Producte. Eben so ist das Blei, welches aus essigsaurem Blei ausgeschieden wird, ein secundäres Product, entstanden durch die reducirende Kraft des Wasserstoffes, den das Wasser der Essigsäure liefert. Ueberhaupt spielt der Wasserstoff durch seine reducirende Kraft bei electrolytischen Versuchen eine große Rolle, wie schon früher Fischer gezeigt hat. (Fischer's Verhältniß der chemischen Verwandtschaft zur galv. Elect. Berlin 1830. Vergleiche Pfaff in Schweigg. J. 64. 1.) Das Entstehen der secundären Producte ist nicht immer nach den gewöhnlichen Affinitätsgesetzen erklärbar, indem Stoffe, die so eben durch E. ausgeschieden worden, Verbindungen eingehen, die sie sonst nicht eingegangen wären. Ob ein Zersetzungsproduct primärer und secundärer Natur sey, erkennt man oft schon aus seiner Natur, am besten aber aus der Quantität, in der es zum Vorschein kommt. Vermöge solcher secundären Wirkungen haben die Polardrähte einen starken Einfluß auf die electro-chemische Wirkung, ungeachtet sie sonst nur als Leiter in Betrachtung kommen.

374. Da der electrische Strom im Polardrahte einer Volta'schen Säule anhaltend ist, so muß mit jeder Entladung der Säule eine Ladung verbunden seyn, und daher in der Säule selbst ein Strom Statt finden, dessen Richtung dem im Polardrahte entgegengesetzt ist. Durch diesen Strom wird die leitende Flüssigkeit zwischen den Platten zersetzt, denn es ist Bedingung der Wirksamkeit einer Volta'schen Säule, daß diese Flüssigkeit ein Electrolyt sey. Die Bestandtheile derselben werden an die Metalle, welche die electrischen Pole vorstellen, übertragen, die Thätigkeit der Säule geschwächt und endlich ganz aufgehoben. Nur Säulen, bei denen jedes Metall eines Elementes seine eigene Flüssigkeit hat, durch deren Zersetzung es nicht verändert wird, leiden fast keinen Abbruch in ihrer Kraft. Mit der Zersetzung des feuchten Leiters tritt auch eine Temperaturerhöhung ein, aber diese ist nicht an

allen Theilen der Säule gleich groß, sondern nimmt, nach Murray, vom negativen Ende gegen das positive zu. Lange, bevor eine Säule zu wirken aufhört, hat der Strom seine Continuität verloren und die Säule braucht einige Zeit, um die Ladung anzunehmen, die der Draht vermöge seiner Leitungsfähigkeit abzuleiten vermag. Oft wird eine Säule wieder thätig, wenn man die Zinkplatten vom Oxyde befreit oder den Apparat erwärmt.

375. Die zersetzende Kraft eines electrischen Stromes, sowohl bezüglich der zwischen den Polardrähten als auch der zwischen den Elementen der Säule enthaltenen Electrolyten, hängt aber einzig und allein von der Quantität der strömenden Electricität ab, und es zersetzt eine bestimmte Electricitätsmenge immer dieselbe Quantität eines Stoffes, sie mag schnell oder langsam, mit größerer oder geringeren Dichte durchgeführt werden, vorausgesetzt, daß sie überhaupt die zur Erzeugung electrolytischer Wirkungen nöthige Intensität hat. Die Leitungsfähigkeit der Polardrähte oder des feuchten Leiters kann wohl die Schnelligkeit des Stromes modificiren, aber nicht die Quantität der zersetzten Masse ändern. Wird ein Strom in mehrere einzelne Ströme getheilt, so wirken diese Ströme zusammen eben so, wie der ganze Strom für sich. Zwischen zwei Polardrähten wird z. B. gerade so viel Wasser in einer bestimmten Zeit zersetzt, wie in allen Zellen der Batterie zusammen genommen. Von verschiedenen Stoffen zersetzt dieselbe Electricitätsmenge verschiedene Quantitäten, doch stehen diese im verschiedenen Verhältnisse der Atomengewichte der Stoffe, d. h. dieselbe E Menge zersetzt von jedem Körper gleich viele Atome. Ein Stoff, der durch E leicht zersetzbar und immer in derselben Qualität zu haben ist, und dessen Bestandtheile sich leicht messen lassen, kann demnach zu einem Maßstabe für die Quantität der strömenden E, oder wie Faraday sagt, zu einem Voltameter dienen. Ein solcher Stoff ist das Wasser, und ein Apparat, worin man dieses durch E zersetzen und die daraus entstandenen Gase messen kann, ist demnach ein passendes Voltameter.

Faraday wendete bei Versuchen über die Zersetzung des Wassers verschiedene Gefäße zum Auffangen der entwickelten Gase an, immer aber gingen die Platindrähte, welche die E ins Wasser leiteten, in Platten aus. Er fand dieselbe electrolytische Wirkung der E, diese Platten mochten 0.7 Zoll breit und 4 Z. lang, 0.5 Z. breit und 0.8 Z. lang oder gar 0.02 Z. breit und 0.5 Z lang seyn, nur mußte dafür gesorgt werden, daß sich die Gase nicht wieder zu Wasser verbanden, und daß die Lösung derselben in Wasser möglich gering ausfiel. Als man drei Zersetzungsinstrumente aufstellte, wo sich der electrische Strom, nachdem er durch das erste gegangen war, in zwei andere zertheilen und sich hierauf wieder vereinigen mußte, so fand man die Summe der Gase in den zwei letzten Gefäßen gleich jenen in dem ersten. Man erhielt immer dasselbe Resultat, das Wasser mochte durch Schwefelsäure, durch Aetzkali oder Aetznatrum, durch Bittersalz oder Glaubersalz leitend gemacht worden seyn. Eben so wenig fand man einen Unterschied in der zersetzenden Kraft der E, der positive Polardraht mochte aus Platin, Kupfer oder Zink bestehen. (Faraday in Pogg. Ann. 33. 316.) Bei der Zersetzung von Zinnchlorür fand man, daß der negative Platindraht

durch Aufnahme von Zinn um 3.2 Gran zugenommen habe. Durch denselben Strom wurden aber 3.85 K. Z. Gase aus Wasser enthalten, welche 0.49742 Gran wogen, indem 10 K. Z. solchen Gases 12 92 Gran geben. Setzt man das Atomengewicht des Wassers = 9 (Wasserstoff = 1), so hat man 0.49742 : 3.2 = 9 : 57.9, und letztere Zahl ist in der That sehr nahe das Atomengewicht des Zinnes. Folgende Tafel enthält die von Faraday bestimmten Jonen, mit ihren (electrischen) Aequivalenten oder Atomengewichten.

Sauerstoff	1	Wasserstoff	0.125	Quecksilber	25
Chlor	4.44	Kalium	4.9	Silber	13.5
Jod	15.75	Natrium	2 91	Platin	12.33
Brom	9.79	Lithium	1.25	Gold	
Fluor	2.34	Barium	8.59	Ammoniak	2.13
Cyan	3.25	Strontium	5.48	Kali	5.9
Schwefelsäure	5	Kalium	2.56	Natrum	3.91
Selensäure	8	Magnesium	1.59	Lithion	1.25
Salpetersäure	6.75	Mangan	3.46	Baryt	9 59
Chlorsäure	9.44	Zink	4.06	Strontian	6.47
Phosphorsäure	4.40	Zinn	7.24	Kalk	3.56
Kohlensäure	2.75	Blei	12.94	Talkerde	2.59
Borsäure	3.	Eisen	3.5	Thonerde	
Essigsäure	6.38	Kupfer	3.95	Oxydule	
Weinsäure	8.25	Kadmium	6.98	Chinin	21.45
Citronensäure	7.15	Cerium	5.75	Cinchonin	21.45
Kleesäure	4.5	Kobalt	3.69	Morphin	20
Schwefel	2	Nickel	3.69	Pflanzenbasen	36.25
Selen		Antimon	8 08		
Schwefelcyan		Wismuth	8.88		

376. Das hier aufgestellte Gesetz gibt ein Mittel an die Hand, die Zweckmäßigkeit des Baues verschiedener Volta'scher Säulen numerisch mit einander zu vergleichen. Da nämlich zwischen den Polardrähten und in den Zellen der Säule gleich viel Wasser zersetzt werden muß, der Sauerstoff aber zur Oxydation des Zinkes verwendet wird; so kann man leicht von der zwischen den Polardrähten zersetzten Wassermenge auf die Quantität des durch den electrischen Strom gebildeten Zinkoxydes in den Zellen schließen. Um was mehr Zink oxydirt worden ist, rührt von einer, dem electrischen Strome fremden Wirkung her, und je besser die Construction einer Säule ist, desto kleiner wird dieser Ueberschuß seyn.

Es kommen bekanntlich auf 1 Gewichtstheil zersetzten Wassers $\frac{8}{9}$ Th. Sauerstoff, und diese können $\frac{8}{9} \times 4.03 = 4.03$ Th. Zink oxydiren. In einer ganz vollkommenen Säule dürfen daher auf jeden Gran zersetzten Wassers nur etwa 4 Gran Zinkverlust kommen.

377. Ein electrischer Strom kann nicht bloß chemische Wirkungen hervorbringen, sondern auch solche, die nach den gewöhnlichen Affinitätsgesetzen, aber in einem der Tendenz des Stromes entgegengesetzten Sinne eintreten sollen, hindern. Legt man ein Stück Eisen in eine Schale von Glas oder Porcellan, und übergießt es mit verdünnter Salpetersäure, so löset sich dieses Metall in der Säure auf. Berührt man es aber mit einem Stückchen Zink, so wird das Eisen nicht mehr

angegriffen, dafür aber das Zink, und erst wenn letzteres ganz aufgezehrt ist, kommt die Reihe wieder an ersteres. Dasselbe erfolgt mit Kupfer, Zinn, Blei oder Silber, oder wenn man Schwefelsäure oder Salzsäure der Salpetersäure substituirt. Selbst Gold und Platin werden durch Zink gegen die Einwirkung des Königswassers geschützt. Man kann sich den Hergang bei diesen Erscheinungen so vorstellen: Wenn Eisen in Salpetersäure getaucht wird, so entsteht ein electrischer Strom zwischen der Flüssigkeit und dem Metalle, und dieser bedingt die Zersetzung eines Theiles der Säure und die Oxydation des Metalles auf Kosten des von ihr frei gewordenen oder bereits in ihren Poren enthaltenen Sauerstoffes. Daß sich das Oxyd in der übrigen Säure auflöset, bedarf keines weiteren Beweises, und wird durch die gewöhnlichen Affinitätsgesetze vermittelt. Berührt man aber das Eisen mit Zink, so tritt ein anderer, entgegengesetzter Strom auf, der stärker ist als der erstere, und durch dessen Einfluß das Zink, nicht das Kupfer oxydirt wird, eben weil er in seiner Richtung dem vorigen entgegengesetzt ist. Dieses Oxyd ist es, welches nun in der Säure aufgelöset wird. Demnach hängt das Angegriffenwerden des einen oder anderen Metalles nur davon ab, welches von beiden durch den Einfluß des electrischen Stromes oxydirt wird; an dem weiteren Verlaufe hat die E keinen Einfluß mehr. Daß Eisen durch Berührung mit Zink in feuchter Luft nicht vor Oxydation geschützt werden könne, ist daraus erklärbar, daß der electrische Strom, zu welchem durch Berührung der zwei Metalle die Tendenz vorhanden ist, wegen zu geringer Leitungsfähigkeit der feuchten Luft nicht zur Wirklichkeit kommen kann. Auf diesen Grundsätzen beruht die Schützung des Kupferbeschlages von Schiffen durch Zink, Eisen rc. gegen Einwirkung des Meerwassers nach Davy. Nimmt man an, daß die Tendenz zu einem electrischen Strome und unter günstigen Umständen der Strom selbst in einem Metalle die diese Tendenz erzeugende Ursache überdauert, so erklären sich, wenigstens nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft, aus obiger Ansicht alle jene Erscheinungen, die Schönbein neuestens wieder hervorgehoben und mit neuen, sehr interessanten vermehrt hat, und die sich darauf beziehen, ein Metall gegen eine Säure, die es im natürlichen Zustande stark ergreift, ganz indifferent zu machen. Jenes Hinausreichen der Wirkung der Electricität auf einen Körper über die Dauer ihrer Existenz beweisen aber bestimmte Erfahrungen. Die Polardrähte, welche eine Zeit lang zur Zersetzung eines Körpers, z. B. des Wassers, durch den electrischen Strom gedient haben, erlangen dadurch die Kraft, diese Zerlegung selbst dann noch anhaltend, und zwar oft mehrere Tage fortzusetzen, nachdem sie von der Säule getrennt worden sind; ja man kann sie aus der Flüssigkeit herausnehmen und reinigen, ohne ihnen dadurch ihre Kraft zu nehmen. Nach Pfaff sind nicht alle Metalle hiezu in gleichem Grade geeignet, und zwar Eisen- und Zinkdrähte im höchsten Grade, in einem geringeren Silber-, Platin-, und Golddrähte; an Messing- und Bleidrähten bemerkt man hiervon nichts. Aber wenn auch solche Drähte kein Wasser mehr zersetzen, so ist doch die Tendenz,

dieses zu thun, noch nicht verschwunden; denn sie geben oft auf anderen Wegen noch Zeichen eines vorhandenen electrischen Stromes.

Setzt man einen Eisendraht einige Augenblicke mit dem positiven Pole einer Volta'schen Säule in Berührung, so wird er hierauf von Salpetersäure, die so verdünnt ist, daß ihr sp. Gew. 1.35 nicht überschreitet, nicht angegriffen; er gibt mit Platin oder Silber kein wirksames Volta'sches Element mehr, oxydirt sich, als Polardraht einer electrischen Säule gebraucht, am Pole nicht, zersetzt den Kupfervitriol nicht mehr, kurz er verhält sich, wie Schönbein sagt, ganz passiv. Diese Passivität erlangt er auch auf andere Weise, z. B. durch Glühen und Anlaufen in der Luft, und zwar nicht bloß an der geglühten oder angelaufenen Stelle, nur muß man das geglühte Stück zuerst in die Flüssigkeit tauchen, gegen die er passiv seyn soll; er theilt diese seine Eigenschaft einem anderen Eisendraht mit, der um das nicht geglühte Ende festgewunden, oder mittelst eines Platindrahtes damit verbunden ist. Dieser passive Zustand hört mit der Zeit von selbst auf, und zwar ist selber nach Verschiedenheit der Mittel, durch die er erzeugt wurde, auch verschieden. Erhitzt man die Salpetersäure, gegen welche ein Eisendraht passiv ist, bis gegen 88°, oder erschüttert man das aus der Säure hervorragende Ende heftig, oder bringt man zwei passive, in derselben Säure befindliche Drähte an der obersten Fläche mit einander in Berührung etc., so wird die Passivität augenblicklich aufgehoben. (Pogg. Ann. 37. 390, 590; 38. 444, 492; 39. 122. 43. 1, 13. Das Verhalten des Eisens zum Sauerstoffe von Schönbein. Basel 1837.)

378. Die chemischen Wirkungen der E weisen sehr deutlich auf eine innige Verbindung zwischen den electrischen und chemischen Kräften der Körper hin. Man hat sogar zu beweisen gesucht, daß jedem Theilchen (Atome) eines Körpers eine bestimmte Menge E eigen sey, und daß gerade das Zuführen einer gleichen Menge im entgegengesetzten Sinne dessen Zersetzung bestimme. Verbindet man dieses mit der erwiesenen Wahrheit, daß die chemischen Aequivalente mit den electrischen in genauer Relation stehen, so erscheinen die Atomengewichte als jene Körpermengen, welche gleichviel E enthalten oder gleiche electrische Kräfte besitzen. Es beruhen demnach die Verbindungen nach bestimmten Verhältnissen auf der Electricität der Atome, und die gleichen Quantitäten E sind es, welche sowohl jene Verhältnisse als die Atomengewichte bestimmen.

379. Der electrische Strom ertheilt jedem Körper, durch den er geht, magnetische Kraft. Der Polardraht einer thätigen Volta'schen Säule zieht Eisen an wie ein Magnet, er mag aus was immer für einem Materiale bestehen, wenn er nur die E hinreichend leitet; doch dauert dieses nur so lange, als der electrische Strom anhält, sobald er aber aufhört, verschwinden auch alle Spuren des Magnetismus. Der Zustand eines solchen Magnetes ist bis jetzt noch nicht so weit ausgemittelt, daß man seine Pole anzugeben im Stande wäre, und wenn es überhaupt erlaubt ist, von magnetischen Polen eines solchen zu reden, so muß man ihn als einen Transversalmagnet ansehen. Eisenfeile, die man ihm nähert, hängen sich nicht so an ihn an, wie sie dieses an einem gewöhnlichen Magnete thun, sondern sie wickeln ihn ein und legen sich der ganzen Länge nach quer um ihn herum. Diese

merkwürdige Wirkung des electrischen Stromes hat zuerst Arago wahrgenommen.

380. Die magnetische Kraft des electrischen Stromes offenbaret sich auf eine merkwürdige Weise dadurch, daß man durch einen solchen Strom Eisen und Stahl magnetisiren kann. Wird ein electrischer Strom schief über ein Eisenstäbchen geleitet, so erlangt dasselbe schon magnetische Kraft. Diese wird noch größer, wenn der Strom das Stäbchen rechtwinkelig kreuzet, und endlich noch viel bedeutender, wenn man mehrere electrische Ströme quer über das Stäbchen gehen läßt. Letzteres findet Statt, wenn man den Polardraht zu einer hohlen Schraube zusammenwindet und den zu magnetisirenden Körper darein legt; denn in diesem Falle kann man sich die Richtung jedes Schraubenganges in zwei zerlegt denken, wovon eine auf der Axe der Schraube senkrecht steht, während die andere mit ihr parallel lauft. Letztere bringt keine hieher gehörige Wirkung hervor, und es vertritt daher die Schraube eben so viele quer über das Stäbchen gespannte Polardrähte, als Schraubenwindungen in die Länge desselben fallen. Die magnetisirende Kraft, welche da unter günstigen Umständen eine Volta'sche Säule entwickelt, ist unglaublich. Man kann durch dieses Mittel ein weiches Hufeisen, das überfirnißt, mit Seide und mit einem etwa 1 L. dicken Kupferdraht schraubenförmig umwickelt ist, und dessen Ende mit den Polen eines mäßigen Volta'schen Elementes in Verbindung stehen, stark magnetisiren, und dieser Magnetismus bleibt, selbst wenn der Strom aufgehört hat, bis man den Anker wegnimmt, in welchem Falle er aber ganz verloren geht. Die Größe dieser Kraft hängt von der Stärke des electrischen Stromes, der Homogenität, Weichheit und Masse des Eisens, vom Gewichte des Ankers, der Form der Berührungsfläche zwischen beiden, von der Leitungsfähigkeit, Dicke und Länge des Drahtes, von der Anzahl der Windungen, und endlich von der guten Isolirung derselben ab. Man kann annehmen, daß bei übrigens gleichen Umständen der erzeugte Magnetismus der Stärke des electrischen Stromes direct proportionirt sey; doch wird die volle magnetische Kraft nicht im Augenblicke des Stromeintrittes, sondern erst allmälig erreicht. Alles, was die Quantität der durch den Polardraht strömenden E vermindert, setzt auch die magnetisirende Wirkung des Stromes herab. Daher wirkt ein Strom, der durch Schwefelsäure geht, so schwach. Man kann immer die Lage der Pole des so zu erzeugenden Magnetes angeben. In einer rechtsgewundenen Schraube wird immer jene Hälfte die Nordhälfte, welche dem Eintritte der negativen E am nächsten ist, und daher die andere die Südhälfte; in einer links gewundenen Schraube erfolgt das Gegentheil. Der electrische Strom aus einer Leidnerflasche bewirkt im Allgemeinen dieselben Erscheinungen, wie der einer Volta'schen Säule, und zwar ertheilt er einem Drahte noch stärkeren Magnetismus; doch zeigt er besondere Eigenthümlichkeiten. Bringt man nämlich über einem horizontalen, langen Drahte dünne und kurze Stahlstücke in einer auf den Draht senkrechten Richtung so an, daß sie eine ungleiche Entfernung vom

Drahte haben, und entladet dann eine Leidnerflasche oder eine Batterie durch diesen Draht; so findet man zwar die Stahlstücke magnetisch, aber die gleichnamigen Pole liegen nicht bei allen an derselben Seite, sondern wenn z. B. das dem Strome nächste Stäbchen den Nordpol an der rechten Seite hat, so findet dieses in der Regel auch noch beim zweiten, dritten ꝛc. Statt; doch ist ihre Kraft immer schwächer, je weiter sie vom Strome entfernt waren, hierauf folgt aber eine Reihe, an denen der Nordpol links liegt, auf diese wieder eine andere mit rechts gelegenen Nordpolen u. s. f. Die Anzahl dieser Abwechslungen hängt, nach Savary, der dieses Phänomen entdeckte, von der Stärke des Stromes, von der Länge des Leitungsdrahtes, von den Dimensionen der Metallstücke und von ihrer Coercitivkraft ab. Derselbe Gelehrte hat ferner gefunden, daß die Lage der Pole eines Stahlstückes und die Stärke ihrer Kraft auch durch die Substanz modificirt werde, in die man es einhüllt. Eine dicke Kupferplatte hemmt die magnetisirende Kraft ganz, eine dünne unterstützt sie. Dasselbe thun auch andere Metalle (Pogg. Ann. 9. 443). Nach Moll wirkt die magnetisirende Kraft des electrischen Stromes durch Elfenbein, gebrannten Thon, Stein, Holz, ja selbst eine an und für sich diese Kraft hemmende Metallhülle bleibt ohne Wirkung, wenn sie mit einigen kleinen Löchern versehen ist. (Zeitsch. 6. 342.) Es scheinen hierbei schon magneto-electrische Ströme im Spiele zu seyn, von denen erst später die Rede seyn wird. Auch Flambia's Erfahrung, welcher gemäß in einem Leiter, der eine Leidnerflasche entladet, zwei gleichzeitige, einander entgegengesetzte Ströme eintreten, wovon nur der stärkere magnetisirt, scheint in diese Categorie zu gehören. (Pogg. Ann. 34. 84.) Es ist klar, daß man einen, wenn auch nur temporären Electromagnet zur Erzeugung von Stahlmagneten durch Streichen benützen könne. Ein Stahlstab, der im glühenden Zustande mit jedem Ende an einen Pol eines starken Electromagnetes angelegt und in dieser Lage abgelöscht wird, soll hiedurch starken Magnetismus erhalten. (*Ann. de Chim.* 51. 442.)

Sturgeon hat zuerst auf die mächtige magnetisirende Kraft eines schwachen electrischen Stromes aufmerksam gemacht. Ein weiches Hufeisen von 29 Pfd. mit Spiralen von 5 Mill. dickem Eisendrahte erhielt durch eine einfache Kette von Platten von 14 Mill. Durchmesser eine Tragkraft von 48 Pfd. und mit einer solchen von Platten von 70 Q. Centimenter Oberfläche eine Kraft von 124 — 153 Pfd. Einem 11 Pfd. schweren weichem Hufeisen ertheilt man leicht mit einem Zinkkupferelemente von 1 Q. Fuß Oberfläche und 2 L. dicken Kupferdrähten eine Kraft von 120 Pfd., mit einem Elemente von 4 Q. F. aber leicht eine Kraft von 200 Pfd. Ten Eyk hat hierin das Größte erzielt und einem Hufeisen von $59\frac{1}{2}$ Pfd. Gewicht mit einem Elemente von $4\frac{7}{9}$ Q. F. Oberfläche eine Tragkraft von 2063 Pfd. ertheilt. (Moll in Zeitsch. 9. 106 und in Pogg. Ann. 29. 468; Ten Eyk in Schweigg. J. 65. 115.) Dal Negro magnetisirte drei Hufeisen, A, B, C, mit demselben Strome. A wog 1.5, B 0.35, C 0.292 Kilog., und es trug nach der Hand A 9.6, B 7.5, C 4.62 Kilog. mittelst eines flachen, hingegen A 15.8, B 7.8, C 8.33 Kilog. mittelst eines convexen Ankers. Ein Hufeisen mit Kupferspiralen erhielt eine Tragkraft von 5.9 Kilog., mit

Eisenspiralen aber nur 1.8. Merkwürdig ist das von Dal Negro gefundene Gesetz, nach welchem sich die magnetisirende Kraft eines Electromotors nicht nach der Größe der Oberfläche, sondern nach dessen Umfang richten soll. (Zeitsch. n. F. 1. 321; 2. 286.)

381. Nichts ist natürlicher, als die Vermuthung, daß der electrische Strom, der im Stande ist, den Polardraht zu magnetisiren, auch eine Magnetnadel afficiren müsse. Oersted hat im Jahre 1820 diese Einwirkung zuerst kennen gelehrt und dadurch zu allen electromagnetischen Entdeckungen, die schnell auf seinen Fund folgten, den Weg gebahnt. Dieser Gelehrte fand nämlich, daß der electrische Strom einer Volta'schen Säule unter gewissen Umständen eine Magnetnadel aus ihrer Richtung bringe. Um die Gesetze dieser merkwürdigen Wirkung des electrischen Stromes leichter zu übersehen und für sie kürzere Ausdrücke wählen zu können, denke man sich immer nur den positiven Strom, der im Polardrahte vom Zinkpole zum Kupferpole, in der Säule aber vom Kupferpole zum Zinkpole geht, und abstrahire vom negativen Strome gänzlich, vergesse aber nicht, daß dieses nur der Abkürzung wegen geschieht, keineswegs aber zum Behufe einer Erklärung. Unter diesen Voraussetzungen erfährt man folgende Gesetze: 1) Ist der electrische Strom von Süd nach Nord gehend, mit der Axe einer horizontal schwebenden Magnetnadel parallel und letztere mit ersterem in einerlei Verticalebene; so wird die Abweichung der Magnetnadel, nicht aber ihre Neigung geändert, und zwar wird der Nordpol nach West abgelenkt, wenn der electrische Strom über der Nadel vorbeigeht, hingegen nach Ost, wenn er sich unter der Nadel befindet. 2) Hat der electrische Strom dieselbe Richtung und steht die Magnetnadel in gleicher Höhe mit ihm; so wird ihre Neigung, nicht aber ihre Abweichung geändert, und zwar wird der Nordpol herabgezogen, wenn der electrische Strom an der Westseite des Magnetes, vorbeigeht, hingegen erhöht, wenn er sich an seiner Ostseite befindet. 3) Geht der electrische Strom von Nord nach Süd, so erfolgen alle diese Ablenkungen nach entgegengesetzter Richtung. 4) Macht der electrische Strom mit dem magnetischen Meridian einen spitzigen Winkel, so erfolgt die Ablenkung wie vorhin, nur schwächer. Man kann sich vorstellen, als ließe sich dieser Strom in zwei andere Ströme zerlegen, wovon einer im magnetischen Meridian liegt und auf die Magnetnadel nach den früheren Angaben wirkt, während der zweite auf dem magnetischen Meridian senkrecht steht und keine Wirkung auf sie äußert. 5) Der Ablenkungswinkel ist bei gleicher Wirksamkeit der Säule desto größer, je näher der electrische Strom am Magnete vorbeigeht. Biot, Savary und Schmidt fanden, daß die ablenkende Kraft verkehrt wie die Entfernung wachse. Ob sich zwischen dem Magnete und dem Polardrahte gute oder schlechte Leiter der E befinden, und ob der Polardraht gerade ist oder Biegungen hat, ist einerlei. Eine ganze Batterie bewirkt keine größere Ablenkung einer Magnetnadel als ein einziges Element derselben, wenn nur die angewandten Drähte dick genug sind, um alle Electricität des Elementes leiten zu können, zum Be-

weise, daß sich die ablenkende Kraft des electrischen Stromes nach der Quantität der strömenden richte und von der Intensität des Stromes ganz unabhängig sey. 6) Eine astatische Magnetnadel wird von einem electrischen Strome so gestellt, daß ihre magnetische Axe auf der Richtung des Stromes senkrecht steht. — Man kann alle diese Gesetze auf einmal übersehen, wenn man sich den Beobachter in den electrischen Strom versetzt und mit dem Gesichte nach der Magnetnadel hingewendet denkt, so daß die E von seinen Füßen zum Kopfe geht. In diesem Falle wird der Nordpol der Magnetnadel stets links abgelenkt. Aus dem Ganzen geht hervor, daß vom Polardrahte eine vor der Hand unbestimmte Kraft ausgehe, welche die Magnetnadel in eine auf den electrischen Strom senkrechte Richtung zu stellen sucht, und zwar so, daß ihr Nordpol an der linken Seite des im Strome befindlichen Beobachters liegt. Daß eine gewöhnliche, nicht astatische Magnetnadel nicht in diese Richtung kommt, sondern in einer Zwischenlage im Gleichgewichte steht, rührt davon her, daß sie von zwei Kräften, nämlich vom Erdmagnetismus und von der Kraft des electrischen Stromes zugleich afficirt wird. Ist daher A (Fig. 337) ein Querschnitt des Polardrahtes in der Ebene des Papieres, durch welchen der electrische Strom von der Vorderseite des Papieres gegen die Rückseite geht, so wird er eine Magnetnadel so zu stellen suchen, wie die Pfeile anzeigen, deren Spitzen ihren Nordpol bedeuten.

382. Der Umstand, daß sich die ablenkende Kraft eines electrischen Stromes nach der Quantität der strömenden E richtet, erlaubt, diese Kraft zum Messen jener Quantität zu benützen. Nimmt man statt eines gewöhnlichen Leitungsdrahtes zum Schließen einer Kette einen gleichförmig dicken, breiten Metallstreifen von einer Länge, welche seine Breite wenigstens fünfmal übertrifft, und läßt über und nahe an demselben eine Magnetnadel spielen, deren Länge nicht unter ein Viertel der Streifenbreite beträgt; so wirkt ein in diesen Streifen fließender Strom auf die Nadel bei jeder Stellung derselben gleich ein, weil er auch den ganzen Streifen der ganzen Breite nach gleichmäßig durchströmt. Ist p die magnetische Kraft der Nadel, P jene der Erde, Q die Kraft des wirksamen und der Quantität der E proportionalen Stromes, endlich α der Ablenkungswinkel der Nadel; so gibt $Pp \sin\alpha$ die Richtkraft der Nadel, $Qp \cos\alpha$ die ablenkende Kraft des Stromes an, und man hat:

$$Pp \sin\alpha = Qp \cos\alpha, \quad \text{oder} \quad Q = P \tan\alpha.$$

Es kann wohl auch ein gewöhnlicher Draht statt des Streifens angewendet werden, aber dann ist die Formel, welche die Relation zwischen dem Ablenkungswinkel und der Stromstärke angibt, viel complicirter. Leichter gelangt man zum Ziele, wenn man die Magnetnadel an einem elastischen Metall- oder Glasfaden über den Polardraht schweben, den electrischen Strom darauf wirken läßt, und dann durch Torsion des Fadens die Nadel in den magnetischen Meridian zurückführt; da ist die Torsion der ablenkenden Kraft proportionirt. Endlich kann man auch eine astatische Magnetnadel über dem Polardraht oscilliren lassen,

und aus der in einer bestimmten Zeit vollbrachten Anzahl der Schwingungen auf die Stromkraft schließen.

Man hat zwar oft versucht, die Stärke eines electrischen Stromes durch andere als die hier erwähnten Wirkungen desselben zu messen, wie z. B. durch seine chemische Kraft, sein Erwärmungsvermögen &c., allein nicht immer hat man darauf geachtet, daß nicht jede Wirkung allein von der Menge der strömenden E abhänge; auch lassen sich nicht alle gleich leicht beobachten und messen. Die chemische Wirkung allein läßt sich der electro-magnetischen an die Seite stellen, doch geht ihr erstere vor, weil sie empfindlicher ist, augenblicklich eintritt und leicht gemessen werden kann.

383. Ein schwacher electrischer Strom bewirkt auch nur eine geringe Ablenkung der Magnetnadel; mehrere parallele, nach derselben Richtung forlaufende, schwache Ströme können aber eine so große Wirkung erzeugen, wie ein einzelner sehr starker Strom. Da der Polardraht einer Volta'schen Säule seiner ganzen Länge nach ununterbrochen von E durchströmt wird, so kann man auch mit Erfolg einen langen Draht mehrmal auf eine Magnetnadel wirken lassen, wenn man ihn ringförmig zusammenwindet und die Magnetnadel in die Oeffnung des Ringes stellt. Auf diese Weise erhält man Schweigger's Multiplicator (Fig. 338), ein Instrument, welches für bewegte Electricität dasselbe ist, was ein Electroskop für ruhende E leistet. (Gilb. Ann. 68. 206.) Man macht es ausnehmend empfindlich, wenn man nach Nobili's Vorschlag (Pogg. Ann. 8. 338) den Polardraht zu zwei ovalen, in entgegengesetzten Richtungen laufenden Ringen windet und in ihre Oeffnungen zwei mit einander verbundene astatisch zusammengesetzte Magnetnadeln hängt (Fig. 339). Zu besonderen Zwecken hat man auch Multiplicatoren, bei denen statt des ringförmig und mehrfach gewundenen Drahtes ein breites Blech in die durch Fig. 340 dargestellte Form a gebogen, und zwischen die beiden Schenkel desselben eine Magnetnadel gebracht ist, die mit einer zweiten, außerhalb des oberen Blechschenkels angebrachten verbunden worden, und mit derselben ein astatisches System bildet. (Schweigg. 57. 1.) Die Empfindlichkeit von Multiplicatoren mit langem Drahte hängt von der Leitkraft des Drahtes, von der Isolirung der einzelnen Windungen, von der Anzahl derselben und von der Art ihrer Windung ab. Man hat außer den genannten noch verschiedene andere Einrichtungen der Multiplicatoren erdacht, um sie empfindlicher, oder um ihre Anzeigen den electrischen Strömen proportional zu machen. Will man aus der Ablenkung der Nadel eines Multiplicators nicht bloß das Daseyn eines electrischen Stromes erkennen, sondern auch seine Stärke (Quantität der E) messen, so muß man durch Versuche die mehreren Strömen von bekannter Stärke entsprechenden Ablenkungen, und aus diesen erst (am besten durch graphische Construction) das Gesetz ausmitteln, welches die Relation zwischen Stromstärke und Ablenkung der Magnetnadel darstellt. Bei gewissen regelmäßigen Anordnungen der Drahtwindungen kann man die Beziehung zwischen der ablenkenden Kraft und der Ablenkung auch durch Rechnung finden.

Colladon hat statt des Drahtes Kupferstreifen (*Ann. de Chim.* 33. 62.), Hare Zinnfolie gewählt, Hachette hat gar den Polardraht zuerst um die Schenkel eines hufeisenförmig gekrümmten Eisens gewunden und die Magnetnadel zwischen diese Schenkel gestellt, damit sie, wenn der durch den Draht gehende E Strom das Eisen magnetisch gemacht hat, durch ihre Annäherung an den einen oder den anderen Schenkel das Daseyn, die Stärke und die Richtung des electrischen Stromes anzeige. (Pogg. Ann. 27. 560.) Person hat dasselbe zu erreichen geglaubt, indem er den Polardraht in Form einer hohlen Schraube zusammenwand und die Nadel in ihre Axe stellte. Auch die Aufhängung der Magnetnadel ist verschieden. Beim einfachsten Multiplicator ruht sie auf einer Spitze; bei Nobili's Multiplicator hängt sie an feinen Seidenfäden; Hare hängt sie an einen feinen Glasfaden. Man kann einen einzigen langen Polardraht brauchen, oder deren zwei neben einander anwenden, wie Nörrenberg und später Nobili empfohlen haben. Die Windungen werden nicht immer auf gleiche Weise gemacht. Marianini (Zeitsch. 4. 42.) windet den Draht fächerförmig (Fig. 341), damit die Nadel, wenn sie unter einer Windung vorbeigegangen ist, alsogleich unter eine andere komme; Nervander (*Ann. de Chim.* 55. 156) ringsum eine cylindrische Schale in gleichen Abständen von einander (Fig. 342). Bisher hat man aber mehr Sorgfalt auf die Windungen als auf die Magnetnadel verwendet. Große und starke Magnete, wie Gauß vorschlägt, scheinen mehr zu nützen, als alle bisher angewandten Mittel, um die Empfindlichkeit der Multiplicatoren zu erhöhen. Sehr viel kommt hierbei auf gute Isolirung der einzelnen Windungen an. Man erhält sie meistens durch einen Seidenüberzug, und verstärkt sie noch durch Ueberfirnissen. Besonders gute Dienste soll ein Ueberzug mit einer Cautschukauflösung thun. Da die Ablenkung der Magnetnadel eines Multiplicators sich mittelst gut isolirter Leitungsdrähte in bedeutender Entfernung leicht zu Stande bringen läßt, so hat man die zwei Richtungen der Ablenkung, welche den zwei verschiedenen Richtungen des electrischen Stromes entsprechen, als primitive Zeichen zur Telegraphie zu benützen versucht, durch deren Combination sich beliebig viele Zeichen bilden lassen. Verschiedene, höchst sinnreiche Einrichtungen des electro-magnetischen Telegraphen wurden von Gauß, Schilling, Wheatstone, Steinheil u. a. angegeben.

384. Gleichwie ein fixer Polardraht eine bewegliche Magnetnadel in Bewegung setzt, eben so muß ein fixer Magnet auf einen beweglichen Polardraht wirken. Um dieses zu zeigen, denke man sich den doppelt rechtwinkelig gebogenen Draht O, Fig. 343, um die verticalen Spitzen m und n leicht beweglich und von Electricität durchströmt. Dieser Draht wird, so wie man ihm einen Magnet nähert, von demselben angezogen oder abgestoßen, und zwar ersteres, wenn der E Strom im Leiter aufwärts geht, und von der Drehungsaxe angesehen, den genäherten Nordpol zur Rechten hat, letzteres, wenn in Bezug auf die Richtung des Stromes oder die Stellung oder die Beschaffenheit des genäherten Poles das Gegentheil Statt findet. Ein um eine verticale Axe beweglicher Multiplicator dient zu demselben Zwecke. Ein spiralförmig um zwei Glasstücke gewundener Polardraht Q, dessen abwärts gehendes Ende K in Quecksilber taucht, während sein aufwärts gerichtetes in einen Haken auslauft, mit dem er in die Pfanne L eingreift, folgt einem Magnetpole, so wie ein Magnet dem anderen. Bei

jedem dieser Apparate kann, wenn derselbe nur empfindlich genug ist, die magnetische Kraft eines Stahlstabes durch jene der Erde vertreten werden. Es stellt sich auch wirklich der Draht O oder ein an seiner Stelle befindlicher Multiplicator durch den Einfluß des Erdmagnetismus auf den electrischen Strom in eine auf den magnetischen Meridian senkrechte Ebene, der Polardraht Q hingegen, wie eine gewöhnliche Magnetnadel, in den Meridian selbst. Richtet man den Draht O so ein, daß seine Masse zu beiden Seiten der Axe mn gleich vertheilt ist, und er daher, wenn diese seine Axe horizontal liegt, in Bezug auf diese äquilibrirt erscheint, so stellt er sich, sobald ein electrischer Strom durch ihn geht, in eine auf der Axe einer frei schwebenden Magnetnadel senkrechte Ebene.

385. Aus dem Vorhergehenden ist zu vermuthen, daß auch ein Polardraht auf einen anderen eine Wirkung ausübe. Dieses hat Ampère in der That nachgewiesen und gezeigt, daß sich zwei parallele Polardrähte anziehen, wenn sie die E in derselben Richtung durchströmt, hingegen abstoßen, wenn die Richtungen der Ströme entgegengesetzt sind. Man kann allgemein sagen, daß sich zwei Ströme, deren Richtungen einen Winkel einschließen, anziehen, wenn beide gegen den Scheitel des Winkels hin- oder davon wegströmen; hingegen sich abstoßen, wenn einer gegen den Scheitel des Winkels hin-, der andere davon wegströmt. Die Theile desselben Stromes stoßen einander ab. Um sich von der Anziehung und Abstoßung zweier Ströme zu überzeugen, bringe man in die Nähe eines Polardrahtes einen zweiten geradlinigen Polardraht an, und lasse beide von der E durchströmen. Da werden sie sich nähern, wenn die Ströme in beiden übereinstimmend; hingegen sich von einander entfernen, wenn die beiden Ströme entgegengesetzt fließen. Windet man einen langen Draht zu einer schlaffen, hohlen Spirale zusammen, hängt sie in verticaler Richtung so auf, daß das untere Ende in Quecksilber taucht, und leitet einen electrischen Strom durch, so spannt sich die Spirale durch die Anziehung der in den einzelnen Windungen gleich fließenden Ströme, und oscillirt nach der Länge, indem sie dabei unten aus dem Quecksilber tritt und sich wieder eintaucht. Um die Wirkung eines electrischen Stromes auf sich selbst zu erfahren, bediene man sich eines durch eine Querwand in zwei Fächer getheilten Gefäßes A (Fig. 344), fülle in jedes Fach Quecksilber ein, setze eines in a mit dem positiven, das andere in b mit dem negativen Pole einer Volta'schen Säule in Verbindung und lege auf das Quecksilber einen Metalldraht cd, der beide Fächer mit einander verbindet. Sobald der electrische Strom beginnt, gleitet der Leiter cd längs der Oberfläche des Quecksilbers hin und entfernt sich von a und b. Ampère hat nachgewiesen, daß die Einwirkung eines electrischen Stromes auf einen andern eine Folge der Action ist, die jedes kleinste Theilchen des einen auf jedes kleinste Theilchen des andern längs der Geraden ausübt, welche beide verbindet. Diese Action ist der Stärke der electrischen Ströme, den Größen der Theilchen direct, dem Quadrate des Abstandes derselben verkehrt proportionirt, hängt aber über-

dieß noch von einem Factor ab, der durch die gegenseitige Lage der Richtungen der Stromtheilchen bestimmt wird, und dessen mathematischen Ausdruck Ampère angegeben hat. Hiernach läßt sich die aus der Gesammtaction aller Theilchen resultirende Wirkung auf das Schärfste berechnen.

386. Wenn man die Einwirkung eines electrischen Stromes auf einen Magnet, wie sie in Fig. 337 dargestellt wurde, näher betrachtet, so kommt man leicht auf die Vermuthung, daß der Nordpol des Magnetes um den Polardraht nach einer Richtung, der Südpol desselben aber nach der entgegengesetzten Richtung zu rotiren strebe. Daß bei den vorhergehenden Versuchen diese Rotation nicht eintrat, kann daher kommen, daß der Magnet sich nicht frei bewegen konnte, und seine zwei Pole eine entgegengesetzte Bewegung einschlagen wollten. Ob diese Vermuthung richtig sey, wird man erfahren, wenn man einen electrischen Strom nur auf einen Pol eines freien Magnetes wirken läßt. Dieses kann man erreichen, wenn man ein Gefäß A, Fig. 345, mit Quecksilber füllt, in dieses Quecksilber durch einen verticalen Draht BC einen elextrischen Strom leitet, so, daß er längs der Oberfläche desselben abfließt, endlich in das Quecksilber ein Magnetstäbchen D gibt, welches darin durch eine angehängte Platinmasse in verticaler Lage schwimmend erhalten wird. So wie der electrische Strom beginnt, fängt auch der Magnet an, sich um den Polardraht zu bewegen nach einer Richtung, die sich nach der vorhergehenden Regel (381) vollkommen richtig bestimmen läßt. Hieraus ist leicht zu errathen, daß sich auch ein beweglicher Polardraht um einen Magnet bewegen wird. Man kann dieses zeigen, wenn man in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß A, Fig. 346, einen leicht beweglichen Draht BC vertical herabhängen läßt, und in der Mitte des Gefäßes einen verticalen Magnetstab anbringt, oder auch durch dasselbe einen Stab DE von weichem Eisen gehen läßt, dem man mittelst eines, an seinem aus dem Gefäße hervorstehenden untern Theile E angelegten Magnetes Magnetismus ertheilt, wobei man den Vortheil hat, die Pole leicht wechseln zu können. Der untere Theil dieses Drahtes reicht bloß mit der Spitze an das Quecksilber, und wird durch ein kleines Glaskügelchen gehindert den Magnet zu berühren. Sobald man einen electrischen Strom durch den Draht in das Quecksilber gehen läßt, fängt das Umkreisen des Polardrahtes an, und dauert fort, so lange der Strom anhält. So wie der magnetische Pol geändert wird, oder die mit dem Pole der Säule verbundenen Drähte verwechselt werden, ändert sich auch die Richtung der kreisenden Bewegung. Diesen Versuch hat Faraday zuerst angestellt.

Der Apparat, durch den man ein Rotiren des Polardrahtes um einen Magnet und umgekehrt erzeugt, läßt sich auf mannigfaltige Weise abändern. Man kann den Polardraht wie eine Magnetnadel auf eine verticale Spitze, die auf der Magnetstange angebracht ist, stellen, und eines oder beide seiner Enden in ein Quecksilbergefäß abwärts biegen; man kann sogar um jeden Pol eines hufeisenförmigen Magnetes einen solchen Polardraht anbringen, und zugleich eine Bewegung um beide

Pole erzeugen. Barlow hat an einem gabelförmig ausgeschnittenen Polardrahte U (Fig. 347) ein sternförmiges Rädchen angebracht, dessen Spitzen in Quecksilber reichten, und dessen Ebene sich zwischen den Schenkeln eines hufeisenförmigen Magnetes befand. Dieses Rädchen wird durch den electrischen Strom mit ungemeiner Geschwindigkeit umgedreht. Man versehe eine Holzscheibe AB (Fig. 348), welche zwischen die zwei Schenkel eines Hufeisenmagnetes paßt, mit einer kreisförmigen Rinne, die in der Richtung eines Durchmessers durch isolirende Scheidewände in zwei Hälften getheilt ist, ferner umwickle man ein Eisenstäbchen, das etwas kürzer ist als der Durchmesser obiger Scheibe, mit Kupferdraht, der durch einen Seidenüberzug isolirt ist, und gebe ihm eine solche Einrichtung, daß es sich um eine auf der Scheibe senkrechte Axe bewegen könne, und dabei die beiden Drahtenden in die genannte Rinne hineinreichen. Wird nun die Scheibe zwischen den aufrecht stehenden Schenkeln des Magnetes befestiget, die Rinne mit Quecksilber gefüllt, so daß dessen Oberfläche etwas über die Scheidewand hervorreicht, jedoch ohne dieselbe zu bedecken, der Magnet auf seine Drehungsaxe gebracht, so daß die zwei Drahtenden das Quecksilber berühren, und ein electrischer Strom durch das Quecksilber und den um das Eisenstäbchen gewundenen Draht geleitet; so beginnt dieser Stab, der nun selbst ein Magnet ist, dessen Pole bei jeder Umdrehung zweimal wechseln, um seine Axe zu rotiren. Diesen Apparat hat Ritchie angegeben. Statt des Electromagnetes kann man auch ein kupfernes um eine Axe bewegliches Rechteck brauchen, dessen Enden in das Quecksilber der Rinne reichen. Richtet man einen cylindrischen Magnet V so ein, daß er sich um seine eigene verticale Axe bewegen kann, und leitet einen electrischen Strom durch ihn, der nur auf einen seiner Pole wirket; so beginnt dieser sich schnell um die genannte Axe zu drehen. Davy hat selbst an flüssigen Leitern, z. B. am Quecksilber, an geschmolzenem Zinn deutliche Rotationen erzeugt. Er bediente sich dazu eines Gefäßes, durch dessen Boden zwei verticale Drähte gingen, die ringsum, bis auf ihre oberste Fläche mit Siegellack überzogen waren. Wurde Quecksilber in das Gefäß gegeben, bis es die Drähte deckte, und durch sie eine mächtige Volta'sche Säule entladen; so erhob sich das Quecksilber über den Drähten in kegelförmiger Gestalt und schlug Wellen. Wurde der Pol eines Magnetes über einen jener Drähte angebracht, so senkte sich der Kegel, verschwand bei größerer Annäherung des Magnetes ganz, und ging endlich gar in eine Vertiefung über, aber das Quecksilber fing um denselben Pol zu rotiren an. (Schweigg. J. 40. 332.) Nach Fechner kann man eine Flüssigkeit durch folgende Vorrichtung in eine electromagnetische Rotation versetzen: Man stelle auf den Pol eines aufrechtstehenden Magnetes eine Kupferschale von 4—5 Zoll Durchmesser, die in der Mitte aufwärts gedrückt ist, um in dieser Stellung ruhig zu verharren. Auf diesen in die Höhe gedrückten Theil lege man einen Zinkring, und gieße mit einer Salmiaklösung gemischte Salzsäure in die Schale, damit durch das Kupfer und Zink ein electrischer Strom erregt werde, der durch die Flüssigkeit geht. Letztere beginnt nun besonders schnell am Zinkringe zu rotiren, und nimmt selbst hineingelegte Papierstückchen mit. (Schweigg. J. 55. 15.) Ritchie hat denselben Zweck auf eine andere Weise erreicht. (Pogg. Ann. 27. 552.)

387. Es läßt sich auch durch das Aufeinanderwirken zweier electrischen Ströme ein Rotiren hervorbringen. Um dieses einzusehen, denke man sich einen nach ab (Fig. 349), und einen zweiten nach einer auf ab senkrechten Richtung cd gerichteten electrischen Strom.

Nach dem früher (385) ausgesprochenen Gesetze stoßen sich die nach ac und cd gerichteten Ströme ab, die nach cb und cd gerichteten hingegen ziehen sich an, und es würde der Polardraht ab nach ab fortschreiten, wenn es möglich wäre, ihm nach dieser Richtung die nöthige Beweglichkeit zu verschaffen. Ist aber der Polardraht ab drehbar, so wird dieses Fortschreiten in eine Rotation übergehen. Umwickelt man daher ein Glasgefäß W (Fig. 350) mit einem durch einen Seidenüberzug isolirten Kupferstreifen; so kann dieser dem Polardrahte ab in Fig. 349 um so mehr substituirt werden, da er zugleich als Multiplicator wirkt, und den Effect des electrischen Stromes, welcher durch ihn geleitet wird, steigert. Den Polardraht für den zweiten, verticalen Strom erhält man, wenn man ein Drahtstück an zwei Stellen unter einem rechten Winkel biegt, so daß es aus zwei verticalen und einem horizontalen Theile besteht, wie abcd, dasselbe unten mit einem kreisförmigen Kupferstreifen versieht, es auf einen durch den Boden des Gefäßes gehenden Stift beweglich stellt, und in dieses Gefäß säuerliches Wasser gibt, das den Kupferdraht berührt. Leitet man nun einen electrischen Strom so, daß er in dem verticalen Stifte aufsteigt, an dessen Ende in zwei Theilen gegen b und c geht, hierauf abwärts durch ba und cd in den Ring fließt, von diesem in das säuerliche Wasser gelangt, hierauf in den Multiplicator übergeht, und endlich zum negativen Pole der Volta'schen Säule gelangt (oder eine gerade entgegengesetzte Richtung nimmt); so beginnt alsogleich das Rotiren des Stückes abcd und zwar nach einer Richtung, die der des Stromes im Multiplicator entgegengesetzt ist. Man erhält auch ein Rotiren des Polardrahtes, wenn man den Multiplicator wegläßt. Ampére schreibt dieses dem Erdmagnetismus zu, und, wie es scheint, mit Recht, da dessen Wirkung der eines verticalen, mit dem Nordpole abwärts gekehrten Magnetstabes gleich seyn muß; indeß hat man dagegen doch wohl zu beachtende Bedenklichkeiten erhoben. (Munke in Gehler's Wörterb. 3. 589). Zwei in sich zurücklaufende (geschlossene) Leiter sind zwar der Theorie nach in einer bestimmten Lage in stabilem Gleichgewichte, und können daher durch wechselseitige Anziehung keine Rotation hervorbringen; allein, wenn man während der Action den Volta'schen Strom umkehrt, so kommt eine solche Rotation zu Stande.

Um letzteres Phänomen hervorzubringen, vertausche man in dem Ritchie'schen Apparate nicht nur den Electromagnet mit dem vorher erwähnten beweglichen Rechtecke aus Kupferdraht, sondern ersetze auch den Hufeisenmagnet mit einem anderen ähnlichen Rechtecke, das über ersterem fest steht, und leite durch beide Rechtecke einen electrischen Strom. Stehen im Augenblicke des Stromeintrittes beide Rechtecke nicht parallel über einander, so werden die Ströme diesen Parallelismus herzustellen suchen und so ein Rotiren bewirken.

388. Die zu den bisher erwähnten electro-magnetischen Versuchen nöthigen Instrumente kann man entweder so construiren, daß jedes einen selbstständigen mit einer eigenen Basis versehenen Apparat

abgibt, oder man kann einen allgemeinen electro-magnetischen Apparat bauen, von welchem die bisher genannten Instrumente Bestandtheile sind. Einen solchen Apparat stellt Fig. 351 dar. AB ist ein 18 Zoll langes, 9 Zoll breites, mit Stellschrauben zum Horizontalstellen versehenes Bret, das mit zwei verticalen hölzernen Säulen C und D versehen ist, durch deren jede der ganzen Länge nach ein Kupferdrath geht, der oben etwa 1 Z. weit hervorragt, und in eine federnde Hülse EF von demselben Metall auslauft. Von den kleinen Vertiefungen GH gehen offene oder verdeckte Drahtleitungen aus, deren die eine von G nach a, die andere von H nach b geht. Ga schließt sich leitend an den Drath D, Hb an C. Eine kreisrunde, etwa 1 Z. unter die Oberfläche des Bretes reichende Vertiefung K steht mit G in leitender Verbindung. Aus ihrer Mitte erhebt sich ein oben pfannenartig endendes Metallstück M. Beim Gebrauche werden GHK mit Quecksilber gefüllt, und die mit löffelförmigen Pfannen versehenen Drähte LM in die Hülsen EF gesteckt. Diese Pfannen dienen zur Aufnahme eines geradlinigen Leiters, der zur Ablenkung der Magnetnadel bestimmt ist, oder des Leiters O, der durch den Erdmagnetismus gerichtet werden soll. Derselbe Leiter kann auch in verticaler Lage in die Pfanne M und L zu stehen kommen, und dasselbe kann mit dem Conductor O geschehen. Die Gabel zum Barlow'schen Rädchen läßt sich in L anbringen, das Rädchen selbst kann in das Quecksilber der Vertiefung K tauchen. Der verticale um seine Axe rotirende Magnet kann oben in L, unten in M spielen. Ersetzt man M durch einen Magnetstab, und hängt in L das Faraday'sche Pendel auf, so kann man auch den Polardraht um den Magnet rotiren sehen ꝛc.

389. Wenn man das Verhalten zweier electrischen Ströme gegen einander mit dem zweier Magnete vergleicht; so sieht man bald, daß zwischen beiden eine völlige Uebereinstimmung herrsche. Dieses ist der Grund, warum Ampère alle magnetischen Erscheinungen statt sie, wie es früher geschah, von einem eigenen Fluidum abzuleiten, auf electrische Ströme reducirt, und annimmt, ein Magnet sey ein Körper, dessen kleinsten Theile von parallelen electrischen Strömen, die auf der Axe senkrecht stehen, umflossen werde. Diesem nach ziehen sich zwei ungleichnamige Magnetpole an, und zwei gleichnamige stoßen sich ab, weil aus der Totalaction solcher Systeme nach dem oben 385 angeführten Gesetze, wie die Rechnung lehrt, diese Wirkungen entspringen. Auch die Wirkung eines electrischen Stromes auf einen Magnet läßt sich auf diesem Wege nachweisen. Offenbar ist dieselbe zunächst das Resultat der Action jedes Theilchens des electrischen Stromes auf die Pole des Magnetes. Allein es zeigt sich hier, daß diese Action nicht nach der geraden Linie erfolgt, welche das Theilchen mit den Polen verbindet, sondern senkrecht gegen die Ebene, welche die Richtung des Theilchens und den Pol in sich enthält, und nach entgegengesetzten Richtungen für beide Pole. Die Größe der Kraft selbst ist der Intensität des Stromes und des Magnetismus, ferner dem Sinus des Winkels, den die Richtung des Stromtheilchens mit

der Geraden macht, die von ihm zum Pole geht, endlich dem reciproken Quadrate der Länge dieser Geraden proportionirt. Hieraus schließt Ampère, daß die Wirkung eines Stromtheilchens auf ein magnetisches Element nicht als eine einfache, sondern als eine zusammengesetzte Action zu betrachten sey, da alle Kräfte, welche die Natur uns bisher dargeboten hat, längs der Geraden wirken, welche die Theilchen, von denen die Kräfte ausgehen, mit einander verbinden. Die Erde selbst hat nach Ampères Ansicht ihre magnetische Kraft von electrischen Strömen, welche von Ost nach West gerichtet sind, mithin dem scheinbaren Lauf der Sonne folgen. Das Magnetisiren des Eisens bringt die schon früher in demselben vorhandenen Ströme auf parallele und gleiche Richtungen, und das, was man Coercitivkraft nennt, ist der Widerstand, den die Ströme eines Körpers einer Kraft entgegengesetzen, welche ihre Richtung zu ändern sucht. So viel übrigens diese Ansicht gegen jene eines magnetischen Fluidums voraus hat; so gibt sie uns doch über das innere Wesen des Magnetismus nicht so viel Aufschluß, wie z. B. die Vibrationshypothese über die Natur des Lichtes, und es ist noch gar viel zu thun, bis man es in dieser Lehre eben so weit wie in der Optik gebracht hat. Ueber Electro-Magnetismus siehe: *Oersted Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae* 1820. Pfaff, der Electro-Magnetismus, eine historisch-kritische Darstellung der bisherigen Entdeckungen rc. Hamburg 1824. Darstellung der neuen Entdeckungen über die Electricität und den Magnetismus, durch Ampère und Babinet. Leipzig. 1822. v. Althaus über den Electro-Magnetismus. Heidelberg 1821. Handbuch der dynamischen Electricität von Demonferrand. Leipzig 1824. Fechner's Elementarbuch des Electro-Magnetismus. Leipzig 1830. Reichhaltig sind über diesen Gegenstand: Gilb. Ann. vom B. 66 und Schweigg. J. vom B. 29 angefangen. Ueber allgemeine electro-magnetische Apparate siehe: Gilb. Ann. 67. 113. Zeitsch. 1. 200, vorzüglich Schweigg. J. 46. 1. Kast. Arch. 13. 49; 14. 273; Pogg. Ann. 28. 586. Sehr vollständig handelt über Electro-Magnetismus Gehler's Wörterbuch 3. 473—647.

390. Daß die im Gleichgewichte befindliche Electricität in einem nahen Leiter eine electrische Spannung erzeugt, war längst bekannt; nun weiß man aber auch, daß bewegte Electricität in einem nahen Leiter einen inducirten Strom hervorbringt. Dieser Strom ist, so wie jene Spannung, dem primären entgegengesetzt, findet aber nur in dem Momente Statt, wo der erregende Strom zu wirken anfängt, und erneuert sich, aber wieder nur momentan und in einer dem ersteren secundären Strome entgegengesetzten, mithin in einer mit dem erregenden übereinstimmenden Richtung, dann wieder, wenn jene Einwirkung aufhört. Zwischen dem ersten und zweiten secundären Strome befindet sich wohl der Leiter in einem besonderen (electrotonischen) Zustande, den man aber bis jetzt nicht weiter kennt. Aus dem Gesagten ist klar, daß man einen secundären electrischen Strom erzeugen kann,

wenn man zwei Leiter neben einander anbringt (jedoch ohne daß sie sich berühren), einen derselben mit einer thätigen Electricitätsquelle in Verbindung setzt, und dann diese Verbindung wieder aufhebt), oder auch, indem man einen Leiter dem Polardrahte einer thätigen Electricitätsquelle schnell nähert, und ihn hierauf wieder entfernt.

391. Ein secundärer electrischer Strom bringt alle jene Wirkungen hervor, die ein primärer von derselben Stärke und Richtung erzeugt; er bewirkt Zuckungen an Froschschenkeln, erregt den eigenthümlichen Geschmack auf der Zunge, die Lichterscheinung vor dem Auge, und lenkt eine Magnetnadel ab, ja gerade diese Wirkungen sind es, aus deren Eintreten Faraday auf das Stattfinden solcher Ströme schloß. Zur Erregung eines solchen Stromes braucht man besondere Vorrichtungen, nämlich einen massiven mit isolirtem Kupferdrahte schraubenförmig umwickelten Cylinder A (Fig. 35a), und einen anderen, hohlen, B, in dessen Höhlung jener paßt, und der an beiden Enden mit vorstehenden Rändern versehen ist, um das Herabgleiten der vielfach über einander liegenden Drahtwindungen zu verhindern. Schiebt man den Cylinder A in den Cylinder B, und bringt die beiden Drahtenden des letzteren mit den Froschschenkeln oder mit der Zunge oder mit den Drähten eines Multiplicators in Verbindung, den des Cylinders A mit den Polen einer Volta'schen Säule, so treten Zuckungen, Lichtphänomene oder eine Ablenkung der Magnetnadel ein, in dem Augenblicke, wo man die Verbindung mit dem Electromotor hergestellt oder wieder aufgehoben, zum Beweise, daß in beiden Fällen ein electrischer Strom in B Statt gefunden habe. Die Ablenkung der Magnetnadel gibt insbesondere von der Richtung und Stärke dieses Stromes genaue Rechenschaft, und es zeigt die Richtung ihrer Ablenkung beim Schließen dieser Kette, daß der secundäre Strom dem primären entgegengesetzt sey, ihr schnelles in Ruhe kommen, daß der secundäre Strom nur momentan war, ihre abermalige Ablenkung beim Oeffnen der Kette, daß abermals ein secundärer Strom Statt gefunden, und die Größe und Richtung derselben, daß dieser dem ersteren der Richtung nach entgegengesetzt, der Größe nach aber gleich sey. Verbindet man die Drähte des Cylinders B statt mit einem Multiplicator mit den Enden eines anderen Drahtes, der spiralförmig um eine Glasröhre geht, in welcher sich eine Stahlnadel befindet, setzt den Cylinder A mit dem Electromotor in Verbindung, und zieht die Nadel zurück, bevor diese Verbindung aufgehoben wird, so findet man die Nadel magnetisch. Wird aber diese Verbindung aufgehoben, so lange sich die Nadel noch in der Glasröhre befindet, so zeigt diese keinen, oder doch nur einen sehr geringen Magnetismus, zum Beweise, daß die Wirkung des ersteren Stromes durch jene des zweiten ganz oder zum Theile aufgehoben worden sey. Da, wo die Nadel noch einige magnetische Kraft erübriget, entspricht dieß der Richtung des ersteren Stromes. Man darf aber darum nicht auf eine größere Intensität dieses Stromes im Vergleiche zum nachfolgenden schließen;

denn ein Magnet braucht zur Umkehrung seiner Pole einen stärkeren Strom als zur ursprünglichen Erzeugung desselben.

392. Da ein Magnet bei den electro-magnetischen Wirkungen die Electricität in Bewegung so glücklich vertreten kann; so glaubte Faraday, den wir überhaupt als den Entdecker dieser Folge von Erscheinungen betrachten müssen, auch hier den primären Strom durch einen Magnet ersetzen zu können. Der Erfolg entsprach seiner Erwartung vollkommen, und man erhielt nicht bloß die vorerwähnten Wirkungen des secundären Stromes, sondern bei zweckmäßiger Unterbrechung der Leiter sogar Funken und Wirkungen auf das Electroskop. Werden die Drähte des Cylinders B mit dem Schenkel eines Frosches, mit der Zunge oder mit einem Multiplicator leitend verbunden, so tritt alsogleich am Froschschenkel eine Zuckung, an der Zunge der eigenthümliche Geschmack, und am Multiplicator eine Ablenkung der Magnetnadel ein, wenn man einen Magnetstab in die Spirale schiebt, zum Beweise, daß der Magnet einen electrischen Strom erregt habe, und dasselbe findet Statt, wenn der Magnet aus der Höhlung des Cylinders B gezogen wird. Die Richtung der Ablenkung der Magnetnadel zeigt, daß der secundäre electrische Strom beim Einschieben des Magnetes jenem entgegengesetzt, beim Ausziehen hingegen, mit jenem übereinstimmend sey, den man der Ampère'schen Theorie zu Folge im Magnete voraussetzen muß. Jede Bewegung des Magnetes, wodurch derselbe in die Spirale hineingeschoben oder aus derselben zurückgezogen wird, äußert sich durch einen neuen, wiewohl nur schwachen Strom. Es versteht sich von selbst, daß man zu diesen Versuchen statt eines selbstständigen Magnetes einen Electromagnet brauchen kann, so daß also der elect. Strom Magnetismus erzeugt, und dieser wieder einen secundären Strom hervorruft. Selbst secundäre Magnete sind zu derlei Versuchen brauchbar. Umwickelt man den Anker eines Magnetes mit einem isolirten Kupferstreifen (Fig. 353) oder einer Drahtspirale, so treten die Zeichen eines secundären elect. Stromes an diesem Drahte oder dem Kupferstreifen ein, sobald man den Anker an den Magnet bringt, und ihn dadurch zum secundären Magnet macht, oder indem man ihn von demselben zurückzieht; ja gerade dadurch erhält man am leichtesten Funken und Wirkungen auf ein empfindliches Electroskop. Endlich kann auch der Erdmagnetismus inducirende Wirkungen hervorbringen. Wird ein schraubenförmig gewundener Kupferdraht an beiden Enden mittelst biegsamer Leiter mit einem empfindlichen Multiplicator verbunden und in verticale Lage gebracht; so zeigt sich jedesmal, wenn man die Spirale schnell in die entgegengesetzte Lage bringt, ein electrischer Strom. Die Stärke der inducirenden Wirkung eines Magnetes ist von der Weite der Windungen, der Drahtspirale und von der Dicke und Substanz des Drahtes ganz unabhängig, sie wächst aber mit der Anzahl dieser Windungen bis zu einer bestimmten Grenze, über welche hinaus eine weitere Vermehrung derselben keine Steigerung der inducirenden Kraft mehr hervorbringt; doch liegt diese Grenze bei längeren Ankern, dickeren Drähten und

engeren Windungen weiter heraus, als bei kürzeren Leitern, dünneren Drähten und weiteren Windungen. Die secundären electrischen Ströme treten in einem Polardrahte zugleich mit den primären ein, und zwar beim Schließen der Kette in entgegengesetzter, beim Oeffnen derselben in übereinstimmender Richtung, und daher kommt es, daß sie sich im ersteren Falle schwächen, im letzteren verstärken. Hieraus erklärt es sich, warum ein langer Leitungsdraht, besonders wenn er spiralförmig gewunden ist, selbst schon mittelst eines einzigen Plattenpaares beim Oeffnen der Kette Zuckungen des menschlichen Körpers hervorbringt, beim Schließen derselben aber nicht, und es wird begreiflich, wie ein in der Spirale liegendes Eisenstäbchen diese Wirkung noch mehr verstärken könne, und warum das Vorlegen eines Ankers die Wirkung eines Magnetes so sehr schwächt. (Faraday in Pogg. Ann. 25. 142. 161; 34. 292; Ritchie ebend. 29. 464; 31. 203; Lenz ebend. 31. 483; 34. 385; Magnus ebend. 38. 417.)

393. Wenn man einen langen spiralförmig gewundenen Leiter einem Magnete schnell hinter einander nähert und wieder davon entfernt, so erhält man mit jeder dieser Bewegungen einen inducirten Strom, und je zwei auf einander folgende Ströme dieser Art sind einander entgegengesetzt, wenn man nicht durch eine besondere Vorrichtung, Commutator, Inversor oder Gyrotrop genannt, in dem Augenblicke, wo der Strom seine Richtung ändern will, die Leiter so versetzt, daß dadurch der Strom wieder umgekehrt wird, und so eine doppelte Umkehrung desselben eintritt. Ein solches schnelles Aufeinanderfolgen mehrerer, wenn auch einzeln schwacher Ströme kann die Wirkung derselben ausnehmend verstärken, nicht bloß weil dadurch die Summe der einzelnen Ströme in einer bestimmten Zeit größer wird sondern auch, weil schnell auf einander folgende Ströme sich gegenseitig verstärken. (La Rive in Pogg. Ann. 41. 152; 45. 163.) Ein recht schnelles Aufeinanderfolgen mehrerer Ströme erhält man am besten mittelst der sogenannten magneto-electrischen Rotationsmaschine. Diese besteht im Wesentlichen aus einem starken Hufeisenmagnet, in dessen Nähe, und zwar senkrecht darauf oder in seiner Verlängerung sich ein um eine Axe beweglicher, auch hufeisenförmig gebogener Anker von sehr weichem Eisen befindet, dessen beide Schenkel mit mehreren Lagen isolirten Kupferdrahtes umwunden sind. Zu gewissen Zwecken, wo es sich nämlich um Intensitätserscheinungen handelt, geht derselbe Draht, nachdem er einen Ankerschenkel mehrfach umwunden hat, in entgegengesetzter Richtung um den zweiten; zu anderen hingegen, wo man nämlich Quantitätsphänomene erhalten will, hat man für jeden Schenkel des Ankers einen besonderen, und zwar einen dickeren Draht, zuletzt aber vereinigen sich die entsprechenden Enden beider Drähte mit einander. Diese Drahtenden können nun mittelst verschiedener Leiter verbunden und dadurch die Kette geschlossen werden, zu welchem Behufe man wieder besondere Einrichtungen dieses Apparates anwendet. Dreht man nun mittelst einer eigens dazu bestimmten Schnurmaschine den Anker in der Nähe des Magnetes, so

wird jeder Ankerschenkel beim Annähern an einen Magnetpol selbst zu einem Magnet, und verliert diese Kraft wieder, wenn er sich von diesem Pole entfernt. Dieser vorübergehende Magnetismus wirkt aber inducirend auf den Kupferdraht, und so kommt es, daß bei einer vollen Umdrehung des Ankers in dem Drahte vier, von Null bis zu einer bestimmten Größe wachsende und wieder auf Null herabsinkende Ströme entstehen, von denen zwei auf einander folgende einerlei, die zwei nächsten entgegengesetzte Richtungen haben. Meistens sind derlei Maschinen so eingerichtet, daß man von den auf einander folgenden Strömen die zwei entgegengesetzten durch Oeffnen der Kette in dem Augenblicke, wo sie eintreten sollen, wegläßt. Man erhält auf diese Art zwar mehr intermittirende Ströme aber von constanter Richtung, welches z. B. bei chemischen Wirkungen, wo man die Zersetzungsproducte rein erhalten will, von besonderem Belange ist. Mittelst eines solchen Apparates kann man alle Phänomene inducirter Ströme leicht und in besonderer Stärke hervorbringen, so daß man ihn füglich mit einer Electrisirmaschine und einer Volta'schen Säule in eine Categorie setzen kann. Er gibt kaum erträgliche Stöße, liefert Funken wie die stärkste Volta'sche Batterie, erzeugt chemische Wirkungen, Glüherscheinungen und electro-dynamische Phänomene. Merkwürdig ist die Wirkung der hier auftretenden Ströme auf eine Magnetnadel. Verbindet man nämlich die beiden Enden des Intensitätsleiters mit einem Multiplicator, so sollte man glauben, es könne keine Ablenkung der Magnetnadel eintreten, weil gleich starke, einander entgegengesetzte Ströme schnell auf einander folgen; allein die Erfahrung lehrt, daß die Nadel um 90° von ihrer natürlichen Richtung abgelenkt wird, und zwar immer nach der Seite, nach welcher sie schon vor der Einwirkung der elect. Ströme einen kleinen Ausschlag hatte, ohne daß darauf die eigentliche Richtung der Rotation oder die Geschwindigkeit derselben einen Einfluß ausübte. Uebrigens schließt sich dieses Verhalten gut an die bekannten Gesetze des Electromagnetismus an; denn ein electrischer Strom magnetisirt eine Nadel immer so, daß sie dadurch eine Richtung anzunehmen sucht, wie jene ist, nach welcher sie derselbe Strom ablenkt; von zwei auf einander folgenden Strömen wird darum durch einen bereits vor dem Eintritte derselben vorhandenen Ausschlag die Wirkung desjenigen verstärkt, der dieselbe Ablenkung hervorzubringen sucht. Poggendorff in dessen Ann. 45. 353. Ueber magnetische Rotationsapparate siehe: Pogg. Ann. 27. 390, 398; 39. 401. Bericht über die Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Prag (Prag 1838). Einen Commutator beschreibt Jacobi in: *Mém. sur l'application de l'electro-magnétisme au mouvement des machines. Potsdam* 1835.; Pohl's Gyrotrop in Pogg. Ann. 34. 185, 500; Ritchie ebend. 32. 539; Gehler's phys. Wörterbuch Bd. 9, Abth. 1, S. 121.

Man kann auch durch den Strom eines Volta'schen Elementes eine Reihe schnell auf einander folgender inducirter Ströme erzeugen, indem man den primären Strom durch das Barlow'sche Rädchen oder die Rit-

chie'sche Rotationsmaschine und zugleich durch eine starke Drahtspirale gehen läßt, welche mit einer zweiten in Verbindung steht, worin der inducirte Strom auftreten soll. Da nämlich der Strom des Elementes in dem Augenblicke aufhört, wo beim Gebrauche des Barlow-schen Rädchens ein Zahn desselben aus dem Quecksilber tritt, ohne daß der zweite bereits darein getaucht wäre, und beim Gebrauche des Ritchie'schen Rotationsapparates in dem Momente, wo die Enden der Drahtspirale von einer Abtheilung des Quecksilbergefäßes in die andere übertreten; so muß dieses beständige Unterbrochenwerden des primären Stromes nothwendig zur Erzeugung inducirter Ströme dienen. (Ueber einen Apparat zur Erzeugung inducirter Ströme in getrennten Leitern siehe Dove in Pogg. Ann. 43. 511; Neef's Blitzrad ebend. 36. 352; desselben Magnetelectromotor 46. 104; Dal Negro in Zeitsch. 1. 145; *Memorie ed osservazioni del Cav. L. Nobili. Firenze* 1834.)

394. Die inducirende Kraft bewegter Magnete gibt zu sehr interessanten Erscheinungen Anlaß. Man winde einen langen mit Seide übersponnenen Metalldraht (am besten von Silber oder von feinem Kupfer) in Form einer Schraube, und schiebe ihn über einen Pol einer schweren, sehr empfindlich aufgehängten Magnetnadel, so daß diese in kleinen Bögen schwingen kann, ohne die Spirale zu berühren. Man thue dasselbe mit einem gleichen zweiten Draht und einer zweiten Magnetnadel, die so weit von der ersten entfernt ist, daß keine directe Einwirkung zwischen ihnen Statt finden kann. Setzt man nun die erste in Schwingungen, so wird dadurch die zweite nicht im mindesten afficirt, so lange nicht die Enden der beiden Drähte, welche die Spiralen bilden, mit einander so verbunden sind, daß sie eine ununterbrochene Kette bilden. So wie aber diese Verbindung hergestellt ist, und man die eine Magnetnadel in Schwingungen versetzt, geräth auch die andere in Oscillationen von gleicher Elongation, so daß sich auf solche Weise die in einem Orte erregten Oscillationen mit derselben Amplitude in die größten Fernen fortpflanzen lassen. (Magnetischer Telegraph; Steinheil's höchst sinnreiches Instrument dieser Art. Ueber Telegraphie, insbesondere durch galv. Kräfte von Steinheil. München 1838.) Nimmt man die eine Magnetnadel weg, ohne an der anderen etwas zu ändern, so geräth letztere auch in Bewegung, so wie man mit dem Pole eines Magnetes in die Nähe der Spirale, am besten in dieselbe hineinfährt. Es ist nicht schwer, dieses aus den bereits angeführten Gesetzen der electrischen Induction zu erklären. Diese Wirkung eines bewegten Magnetes auf einen Metallkörper zeigt sich noch directer dadurch, daß man eine Metallscheibe (am besten aus Kupfer) mittelst eines feinen Fadens sehr beweglich aufhängt, und unter derselben einen Hufeisenmagnet in verticaler Stellung in schnelle rotirende Bewegung setzt. Da kommt alsobald auch die Kupferscheibe nach derselben Richtung in Bewegung. Es kann auch umgekehrt ein beweglicher Körper einen Magnet in Bewegung setzen; dieses ist der Fall an einer Magnetnadel, die sich frei schwebend über einer schnell rotirenden Kupferscheibe befindet. Bei einer mäßigen Geschwindigkeit der rotirenden Scheibe wird der Magnet nach der Richtung der Rota-

tion abgelenkt, und verharrt unter einem gewissen Ablenkungswinkel, so lange die Geschwindigkeit der Scheibe unverändert bleibt; diese Ablenkung wird aber desto größer, je schneller man die Scheibe dreht und endlich fängt der Magnet selbst zu rotiren an. Man kann sogar die Einwirkung der Scheibe auf den Magnet durch die Größe des Ablenkungswinkels oder durch die Zeit einer Rotation des Magnetes messen. Endlich kann die inducirende Kraft eines Magnetes auf ihn selbst wie ein Hinderniß der Bewegung wirken. Arago machte im Jahre 1825 die Entdeckung, daß sich der Schwingungsbogen einer horizontalschwingenden Magnetnadel über einer darunter befindlichen Kupferscheibe sehr schnell vermindert, und die Nadel viel eher zur Ruhe gebracht wird, als in Ermanglung einer solchen Unterlage. Aehnliches erfolgte, wenn die Nadel über einem anderen Metalle, ja in geringem Maße sogar, wenn sie über Glas, Wasser, Holz, oscillirte.

Christie hat zuerst bemerkt, daß directes Sonnenlicht die Schwingungsbögen einer oscillirenden Magnetnadel, so wie eine nahe Kupferscheibe verminderе, und dieses einem magnetischen Einflusse des Lichtes zugeschrieben. Allein diese Wirkung ist wenigstens nicht ganz magnetischer Natur, und wird höchst wahrscheinlich größtentheils bloß durch aufsteigende Luftströme bewirkt. (Zeitsch. 3. 96 u. 157; 6. 325.) Die Verminderung des Schwingungsbogens einer unter dem Einfluß eines Metalles oscillirenden Magnetnadel, rührt theils vom Luftwiderstande, theils von jenem Einflusse her. Um beide Wirkungen von einander zu sondern, sey N die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel in Gegenwart des einwirkenden Körpers machen muß, damit ihr Schwingungsbogen um m Grade abnimmt, n dieselbe Größe, wenn die Nadel ohne Einwirkung jenes Körpers oscillirt, und die Abnahme des Schwingungsbogens bloß vom Widerstande des Mittels herrührt. Da ist offenbar $\frac{mn}{N}$ die Anzahl Schwingungen, welche nöthig ist, damit der äußere Einfluß ohne Widerstand des Mittels der Schwingungsbogen um m° vermindert, mithin $m - \frac{mn}{N} = m\left(\frac{N-n}{N}\right)$ die Verminderung des Schwingungsbogens, welche während der n Schwingungen durch jenen Einfluß allein hervorgebracht wird; durch diesen Einfluß allein hätte der Schwingungsbogen nach $\frac{Nn}{N-n}$ Schwingungen (gefunden aus der Proportion $m\left(\frac{N-n}{N}\right) : n = m : x$) um die Größe m abgenommen.

395. Die Geschwindigkeit der Rotation ist nicht das einzige Element, wovon die Größe der Einwirkung eines bewegten Körpers auf einen Magnet abhängt. Ein starker Magnet wird durch dieselbe Scheibe stärker abgelenkt, als ein schwacher; aber zur Erzeugung einer großen Einwirkung ist ein gewisses Verhältniß in der Größe des Magnetes und der Kupferscheibe nothwendig. Ein sehr kleiner Magnet wird durch eine sehr große Scheibe so wenig merklich afficirt, als ein großer Magnet durch eine sehr kleine Scheibe. Je weiter der Magnet von der Scheibe entfernt ist, desto geringer ist ihre Einwirkung, sie

nimmt aber in einem größeren Verhältnisse ab, als die Entfernung des Magnetes von der Scheibe wächst. Körper, die zwischen den Magnet und die Kupferscheibe gebracht werden, schwächen die Wirkung, wenn sie selbst eine solche beim Rotiren hervorzubringen vermögen. Eine Eisenplatte hebt diese Wirkung ganz, eine Kupferplatte zum Theil auf, Glas, Holz, Papier ꝛc. lassen sie ungeschwächt durch. Vorzüglich schwächend wirkt die Unterbrechung der Continuität der Metallmasse. Eine sternförmig ausgeschnittene Kupferscheibe wirkt ohne Vergleich weniger, als eine massive; die Wirkung einer Scheibe kann man durch einen Schnitt sehr verringern, doch kehrt ihre vorige Kraft wieder zurück, wenn man beide Stücke zusammenlöthet. Ein spiralförmig gewundener Stab wirkt schwächer, als eine Scheibe von demselben Durchmesser und von derselben Masse. Kupfer in Pulverform wirkt ohne Vergleich schwächer, als in einer zusammenhängenden Masse. Eine hart gehämmerte Platte wirkt stärker als eine ausgeglühte, doch soll eine Temperaturänderung der Platte ihre Wirkung nicht merklich ändern. Dieselben Gesetze zeigen sich in Betreff des Einflusses einer Kupferplatte auf eine oscillirende Magnetnadel.

Eine Magnetnadel, deren halber Schwingungsbogen ohne Einfluß eines nahen Körpers nach 108 Schwingungen von 18° auf 9° abnahm, verzögerte sich in der Nähe einer 2 L. dicken Kupferscheibe nach 7, in der Nähe einer 0.8 L. dicken nach 11 Schwingungen um eben so viel. Eine Platte, die den Ausschlagswinkel eines Magnetes nach 8 Schwingungen um 10° verminderte, bewirkte dasselbe erst nach 10 Schw., wenn sie entzweigeschnitten war und die beiden Hälften hart an einander lagen. Ein Magnet, dessen Schwingungsbogen über einer Kupferplatte nach 160 Schw. von 20° auf 10° herabsank, brauchte dazu nur 64 Schw., wenn mittelst eines elastischen Fadens seine Oscillationen beschleuniget wurden. — Arago empfiehlt, die Stärke eines Magnetes nach dem Gewichte zu schätzen, das man ihm anhängen muß, um ihn durch eine Scheibe, die mit einer gewissen Geschwindigkeit rotirt, um einen gewissen Winkel abzulenken.

396. Es ist klar, daß die Ablenkung eines Magnetes durch eine rotirende Kupferscheibe von einer Kraft herrühren müsse, die nach der Tangente der Scheibe wirkt. Diese ist aber nicht die einzige, welche von einer solchen Scheibe ausgeht; sondern es gibt deren noch zwei andere, wovon eine auf der Ebene der Scheibe senkrecht steht, die andere mit derselben parallel ist. Die erstere wirkt auf jeden Pol eines Magnetes abstoßend, und zeigt sich, wenn man einen Magnetstab vertical auf eine Wage hängt, ihn daselbst ins Gleichgewicht setzt, und unter ihm eine Kupferscheibe rotiren läßt; denn da wird alsogleich das Gleichgewicht gestört, und die Seite, wo der Magnet aufgehängt ist, erscheint leichter. Die mit der Ebene der Scheibe parallele Kraft wirkt in der Nähe des äußeren Umfanges der Scheibe und etwas innerhalb desselben vom Centrum gegen die Peripherie, hingegen über einen gewissen Kreis hinaus, wo sie gleich Null ist, von der Peripherie zum Centrum. Davon überzeugt man sich mittelst einer Inclinationsnadel. Stellt man diese so über die Scheibe, daß sie eine

verticale Richtung annimmt, setzt dann die Scheibe in Bewegung; so wird sie in der Nähe des Umfanges der Scheibe gleichsam vom Centrum abgestoßen. Weiter einwärts bleibt die Nadel vertical, und noch weiter einwärts wird sie endlich vom Centrum gleichsam angezogen. Das Verhältniß dieser drei Kräfte zu einander ändert sich mit der Geschwindigkeit der rotirenden Scheibe.

397. So sehr man auch auf den ersten Blick erkennt, daß diese Erscheinungen durch inducirende Wirkung der Magnete zu erklären seyen, so darf man sich doch der Verpflichtung nicht entschlagen, das wirkliche Daseyn inducirter Ströme nach der den Phänomenen angemessenen Richtung nachzuweisen. Zu diesem Ende stelle man eine Kupferscheibe M (Fig. 354), welche um die Axe a beweglich ist, so zwischen die zwei Pole n und s eines Hufeisenmagnetes, daß der Rand noch unter den Polebenen steht, und sowohl dieser Rand (welcher zu diesem Ende amalgamirt ist), als auch die Axe mit einem Multiplicator verbunden, hierauf aber die Scheibe schnell gedreht wird. Da zeigt die Nadel des Multiplicators eine bleibende Ablenkung. Dasselbe tritt in gleicher Ordnung und Stärke ein, wenn man die Scheibe so weit hebt, daß ihr Rand in die Ebene der Pole fällt, oder gar über dieselbe hervorragt. Aendert man die Richtung der Rotation, so weicht auch die Nadel nach entgegengesetzter Richtung aus. Dasselbe erfolgt, wenn man die Pole des Magnetes verwechselt, aber die Richtung der Rotation beibehalten wird. Auch wenn man nicht die genau zwischen den Polen befindliche Stelle des Randes, sondern eine 50—60° davon abstehende mit dem Multiplicator in Verbindung setzt, erfolgt eine Ablenkung, sie wird aber immer schwächer, je weiter der Verbindungsdraht von der Polebene abweicht. Wenn man die Scheibe nur e i n e m Magnetpole gegen über stellt, treten dieselben Wirkungen ein, nur in einem etwas geringeren Grade, und man kann aus der Richtung der Ablenkung der Nadel den Schluß ziehen, daß, wenn sich die Scheibe horizontal und schraubenrecht dreht, und der Nordpol eines Magnetes über derselben steht, der erregte elect. Strom vom Centrum der Scheibe beim Magnetpole vorbei, zum Umkreise derselben geht, und in dem entfernt vom Pole liegenden Theile der Platte zurückkehrt. Fig. 355 stellt solche Ströme mittelst der punktirten Linien dar. Bei einer horizontalen, rechts gedrehten Kupferscheibe b a c (Fig. 356), über welcher sich eine horizontal schwebende Magnetnadel befindet, hat man es mit der gleichzeitigen Wirkung zweier Magnetpole n und s zu thun. Ersterer erzeugt in der ihm entsprechenden Scheibenhälfte einen Strom, der vom Centrum a zum Umkreise b, letzterer einen solchen, der vom Umkreise c nach a geht; mithin entsteht durch die vereinte Wirkung beider Pole ein Strom, der von c nach b gerichtet ist. Fig. 357 stellt diese Ströme vor. Von diesen hängt nun die tangentielle Ablenkung einer Magnetnadel durch eine rotirende Kupferscheibe ab. Daß alle Wirkung aufhört, wenn keine Rotation mehr Statt findet, ist klar, denn nun gibt es keinen secundären elect. Strom mehr, auch der große Einfluß

der Continuität der Masse auf derlei Phänomene ist leicht begreiflich. Die in einer rotirenden Kupferscheibe erregten Ströme haben ihre Wirkungsmittelpunkte n und s zu beiden Seiten des wirksamen Magnetpoles. Da die elect. Vertheilung nothwendig da, wo sie zu Ende geht, stärker seyn muß, als da, wo sie gerade anfängt, weil jene mit der ganzen Summe der Kräfte wirkt, welche die Platte durch den Magnetpol erhalten hat; so hat die Resultante aller Ströme eine schiefe Richtung gegen den Magnetpol, und der vertical aufwärts wirkende Theil dieser Kraft muß den Magnetpol abstoßen. Die Lage der Wirkungsmittelpunkte n und s richtet sich natürlich nach der Lage der Projection des Magnetpoles auf der rotirenden Platte. Rückt dieser Pol gegen das Centrum der Platte, so bewegen sich auch n und s dahin, und es wird nach Maßgabe dieser Annäherung des Poles n an das Centrum der Platte die Vertheilung mehr oder weniger über dieses Centrum hinausrücken, und die Kraft der secundären Ströme wird den Magnetpol, wenn derselbe nahe am Centrum liegt, zu demselben hinziehen, liegt er aber nahe am Umfange, von demselben abstoßen. Was von einer Kupferscheibe gesagt wurde, gilt auch von Scheiben aus anderen Metallen und guten E Leitern, allein die Einwirkung schlechter Leiter, z. B. des Glases, Holzes und selbst der Gase, ist noch nicht mit voller Klarheit aus den bekannten Gesetzen der magneto-electrischen Vertheilung erklärbar. (Faraday in Pogg. Ann. 25. 120; Nobili in Zeitsch. n. F. 1. 93; Pogg. Ann. 26. 401.)

398. Da sich ein inducirter Strom mit geringer Mühe bei gleicher Stärke erhalten läßt, so eignet er sich besonders zu Untersuchungen über die Leitfähigkeit der Metalle. Windet man nämlich Drähte aus den zu untersuchenden Metallen von gleicher Länge und Dicke zu völlig gleichen Spiralen, und schiebt je zwei derselben auf einen eisernen Anker, während ihre Enden mit einem Multiplicator so verbunden sind, daß die zwei Spiralen beim Abziehen vom Anker entgegengesetzte Ströme geben; so wird man aus dem Ausschlage der Nadel erkennen, welche Spirale das Uebergewicht über die andere hat, und welcher Draht daher die größere Leitfähigkeit besitzt. Allein weil der Multiplicatordraht auch mit zur Kette gehört, und daher dessen Leitfähigkeit auch zur Stromstärke beiträgt, so muß man auch auf diesen Rücksicht nehmen, wenn es sich darum handelt, von je zwei Metallen nicht bloß den besseren Leiter zu ermitteln, sondern auch deren Leitkraft numerisch zu vergleichen. Um einzusehen, wie man solche Resultate erhalten könne, bedenke man, daß die Einwirkung eines inducirten Stromes auf eine Magnetnadel nahe momentan sey, mithin wie die eines Stoßes berechnet werden könne, den man durch die dem gestoßenen Körper mitgetheilte Geschwindigkeit mißt. Wird demnach eine Magnetnadel durch die Kraft eines Stromes um den Winkel α abgelenkt, so kann man annehmen, sie habe durch den Impuls desselben jene Geschwindigkeit erlangt, welche ihr durch Bewegung von der besagten Richtung bis zur Gleichgewichtslage zu Theil werden würde, und die man durch $\sqrt{2 p \sin vers \alpha}$ ausdrücken kann, wobei p

eine constante Größe bezeichnet. Setzt man aber $2\sqrt{p} = \frac{1}{q}$, und bedenkt, daß $sin\,vers\,\alpha = 2\,sin^2 \frac{1}{2}\alpha$ ist, so wird der Ausdruck dieser Geschwindigkeit $= \frac{1}{q} . sin \frac{1}{2}\alpha$, und diese mißt demnach den inducirten Strom, welcher die Ablenkung α erzeugt. Ist x die absolute Kraft des Stromes, l der Leitungswiderstand (reciproke Werth der Leitkraft) der Spirale, L jener des Multiplicators, so hat jener Strom die Stärke $\frac{x}{L+l}$, und es ist demnach $\frac{x}{L+l} = \frac{1}{q} sin \frac{1}{2}\alpha$, oder $sin \frac{1}{2}\alpha = \frac{qx}{L+l}$. Man setze den Leitungswiderstand in einer Kupferspirale $= 1$, jenen eines anderen Metalles, z. B. des Eisens $= m$, und beobachte die Ablenkung α und β der Multiplicatornadel durch denselben Strom, wenn er durch die Kupfer- und wenn er durch die Eisenspirale geht. Da ist nun für Kupfer $sin \frac{1}{2}\alpha = \frac{qx}{L+l}$, für Eisen $sin \frac{1}{2}\beta = \frac{qx}{L+\frac{1}{m}}$, und aus beiden demnach m zu finden, wenn nur L bekannt ist. Wenn man zwischen den Multiplicator und der Spirale verschieden lange, oder verschieden dicke oder endlich verschieden warme Drahtstücke derselben Natur einschaltet, und jedesmal die Ablenkung der Magnetnadel beobachtet, so erfährt man den Einfluß der Länge, Dicke und Temperatur der Drähte auf ihre Leitfähigkeit.

399. Da man die Bestimmung der Leitfähigkeit der Körper für Electricität schon längst für sehr wichtig hielt, lange bevor man inducirte Ströme kannte; so hat man auch verschiedene Wege eingeschlagen, um diese Größe zu finden, jedoch ohne zu so brauchbaren Resultaten zu gelangen, wie durch die eben besagte Methode. Man benützte nämlich zu diesem Ende die Größe der Erhitzung eines Drahtes durch den Strom einer Volta'schen Säule (Pristley und Harris), oder durch die Länge des durch einen bestimmten Strom geschmolzenen Drahtes (van Marum), oder durch die Anzahl der Plattenpaare, deren Strom durch einen Draht vollkommen entladen wird (Davy), oder durch die Größe der Ablenkung der Magnetnadel, die ein bestimmter Strom hervorbringt, wenn er durch verschiedene Drähte geleitet wird (Becquerel, Barlow, Marianini, Ohm). Letztere Methode, bei weitem die Beste unter allen so eben aufgezählten, wurde auch zur Bestimmung der Leitkraft von Flüssigkeiten benützt, indem man den Strom eines Volta'schen Elementes durch verschiedene Flüssigkeiten führte. Wenn man die Leitkraft eines festen oder flüssigen Körpers mittelst eines Volta'schen Elementes oder einer Volta'schen Säule dadurch zu bestimmen sucht, daß man den betreffenden Leiter wechselt, und jedesmal die Stromstärke bestimmt, so darf man dabei

nicht vergessen, daß nicht alle vorhandenen Leitungswiderstände im besagten Leiter Statt finden, sondern daß deren auch in den Erregern selbst vorhanden seyen, die bei den verschiedenen Versuchsreihen, wo man verschiedene Leiter gebraucht hat, constant geblieben sind. Soll die beim Wechsel des betreffenden Leiters Statt gefundene Stromveränderung auf das Gesetz der Leitungswiderstände richtig schließen lassen, so muß man die ganze Kette in einen Leiter von der Natur des zu untersuchenden Körpers verwandeln, und diesen mit der jedesmaligen Stromstärke vergleichen, wobei man die Voraussetzung machen kann, daß der Leitungswiderstand mit der Länge des Leiters im geraden Verhältnisse stehe. Die wahre Länge der Kette ist die Länge des Schließungsdrahtes, vermehrt um die reducirte Länge des Elementes.

Um den Gang einer solchen Untersuchung zu zeigen, dazu mag ein von Pouillet angestellter Versuch dienen. Dieser Gelehrte leitete den electrischen Strom einer Zinkkupferplatte direct und ohne einen Zwischenleiter anzuwenden, durch einen unmittelbar auf eine Magnetnadel wirkenden Kupferstreifen, und bestimmte die Stromstärke. Hierauf schaltete er Kupferdrähte von gleicher Dicke aber verschiedener Länge ein, und nahm für jeden einzelnen Fall die Bestimmung der Stromstärke abermals vor. Diese betrug, da wo kein Draht zugefügt war, 2.100, hingegen nachdem man nach der Reihe Drähte von 1, 2, 4, 8, 16 Meter Länge eingeschaltet hatte, nach der Ordnung 0.707, 0.445, 0.243, 0.132, 0.064. Heißt nun die Drahtlänge, welche das Element in Bezug auf Leitungswiderstand ersetzt, $= x$, so ist

$$\frac{x}{x+1} = \frac{707}{2100} \text{ oder } x = 0.52; \quad \frac{x}{x+2} = \frac{445}{2100} \text{ oder } x = 0.54;$$

$$\frac{x}{x+4} = \frac{243}{2100} \text{ oder } x = 0.53; \quad \frac{x}{x+8} = \frac{132}{2100} \text{ oder } x = 0.53;$$

$$\frac{x}{x+16} = \frac{64}{2100} \text{ oder } x = 0.54,$$

mithin im Durchschnitte $x = 0.52$. Man hat es daher bei den Versuchen mit einer Kette von der Länge 0.52, 1.52, 2.52, 4.52, 8.52 und 16.52 zu thun. (Pouillet in *compt. rendus* 4. 267 oder Pogg. Ann. 42. 281.)

400. Aus den bisher angestellten Untersuchungen über die Leitfähigkeit haben sich folgende Resultate ergeben: 1) Die Leitfähigkeit eines Körpers steht im geraden Verhältnisse mit der Stärke der zu leitenden Electricität. 2) Die Leitfähigkeit eines Metalles ist ohne Vergleich größer als die des besten flüssigen Leiters. Charakteristisch ist es für die Metalle, daß sie die E leiten, ohne zersetzbar zu seyn, während die meisten anderen Körper vom geleiteten Strome zersetzt werden. 3) Die Leitfähigkeit eines Metalldrahtes steht im verkehrten Verhältnisse seiner Länge und im directen seines Querschnittes. 5) Die Leitfähigkeit wird durch die Temperaturerhöhung in einigen Körpern, wie z. B. in Metallen, geschwächt, in anderen, wie z. B. Schwefelsilber, verstärkt, doch ist diese Schwächung in verschiedenen Metallen verschieden, und scheint nur bis zu einer bestimmten Temperatur zu gehen, über welche hinaus jede weitere Steigerung der Tempera-

tur die Leitfähigkeit wieder erhöht. Aus diesen Gesetzen erklärt man mehrere überraschende Erscheinungen, z. B. warum man eine Volta'sche Säule leichter isolirt als den Conductor einer nur etwas kräftigen Electrisirmaschine; warum ein Zinkkupferelement im Wasser eine Spannung zeigt, wie in der Luft, warum ein langer Polardraht von einer sehr gut leitenden Masse bei derselben Säule keine stärkere Ablenkung der Magnetnadel hervorbringt, als ein kürzerer von einer viel weniger leitenden Masse; warum ein dünnerer Draht leichter durch einen electrischen Strom glühend wird als ein dicker; warum ein nur schwach glühender Draht alsogleich lebhafter glüht, wenn man ihn an einer Stelle mit Eis umgibt; warum glühendes Glas, geschmolzenes Siegellack, Pech, Wachs die Electricität nicht mehr isoliren 2c. Ob es für ursprünglich gleiche aber von verschiedenen Quellen kommende Ströme in demselben Leiter verschiedene Widerstände gebe, und daher in dem electrischen Strome ähnliche Unterschiede Statt finden, wie in den Strahlen des Lichtes und der Wärme, ist nicht ausgemacht, aber durch mehrere Erscheinungen angedeutet. (La Rive in *Ann. de Chim.* 37. 286; Pogg. Ann. 37. 235.)

Die numerischen Daten, welche man bei Untersuchungen über das electrische Leitvermögen verschiedener Körper fand, sind folgende: Nach Becquerel: Kupfer = 100; Gold = 93.60; Silber = 73.60; Zink = 28.50; Platin = 16.40: Eisen = 15.80; Zinn = 15.50; Blei = 8.30; Quecksilber = 3.45; Kalium = 1.33. Nach Ohm (der auch auf den Leitungswiderstand der Säule Rücksicht nahm): Kupfer = 100; Gold = 57.4; Silber = 35.6; Zink = 33.3; Messing = 28.0; Eisen = 17.4; Platin = 17.1; Zinn = 16.8; Blei = 9.7. Nach Davy: Silber = 109.1; Kupfer = 100; Gold = 72.7; Blei = 69.1; Platin = 18.2; Palladium = 16.4; Eisen = 14.6. Nach Lenz: Kupfer bei 0° C. = 100.00, bei 100° C. = 73.00, bei 200° C. = 54.82; Silber bei 0° = 136.25, bei 100° = 94.45, bei 200° = 68.72; Gold bei 0° = 79.79, bei 100° = 65.20, bei 200° = 54.49; Zinn bei 0° = 30.84, bei 100° = 20.44, bei 200° = 14.78; Messing bei 0° = 29.33, bei 100° = 24.78, bei 200° = 21.45; Eisen bei 0° = 17.74, bei 100° = 10.87, bei 200° = 7.00; Blei bei 0° = 14.62, bei 100° = 9 6, bei 200° = 6.76; Platin bei 0° = 14 16, bei 100° = 10.93, bei 200° = 9.02. Das Minimum der Leitkraft findet Statt im Silber bei 310°.05 R. mit 59.00, in Kupfer bei 359°.00 mit 43.70, in Gold bei 349°.10 mit 50.06, in Zinn bei 269°.2 mit 13.64, in Messing bei 421°.50 mit 18.46, in Eisen bei 278°.80 mit 6.01, in Blei bei 282°.6 mit 6.02, in Platin bei 295°.3 mit 8.41, jene des Kupfers bei 0° mit 100.00 angenommen. (Becquerel in Schweigg. J. 44. 359. Ohm ebend. 44. 245 46; 137. Davy in Gilb. Ann. 71. 251. Faraday in Pogg. Ann. 31. 225. Lenz ebend. 34. 418; 45. 105.) Marianini drückt das Leitvermögen der folgenden Salzlösungen (in 100 Th. Wasser) so aus, wie es die beigesetzten Zahlen bezeichnen: Salzs. Platin 418, Salpetersäure 358, salzs. Gold 307, salp. Silber 298, saures, salpeters. Quecksilberprotoxyd 278, schwefels. Kupfer 258. Schwefelsäure 239, Sauerkleesäure 179, Salzsäure 164, essigs. Kupfer 154, Salmiak 150, sauerklees. Kali 149, salzs. Eisenammoniak 136, Phosphors. mit phosphoriger Säure 127, salzs. Kalk 110, Weinsteinsäure 98.66, weinsteins. Kali 92, Essigsäure 87, Citronensäure 85.71, Alaun 85, salzs. Natrum 84.79, schwefels. Kali 80, Salpeter 78.3, benzoes. Kali 76.56,

Glaubersalz 74.2, melansaures Ammoniak 71.15, Benzoesäure 70.67, kohlens. Natrum 69.2, neutral, chlors. Kali 68.9, Kalibicarbon. 66.7, essigs. Natrum 64.9, schwefels. Magnesia 62.64, saures weinsteins. Kali 62.4, Eisenvitriol 62.26, salzs. Baryt 60, essigs. Kali 59.2, salpeters. Kali 57, salzs. Eisenoxydul 56.53, Kali 55.68, chlors. Baryt 53.23, schwefels. Zink 51 64, Brechweinstein 50.7, phosphorsaures Natrum 46, Borax 45,31, phosphors. Kali 44.74, Natrum 32.6, Aetzammoniak 26 45, Blausäure 18.27, eisenblaus. Natrum 10.96, destill. Wasser 1.00, Alkohol 0.323. Nach Förstemann: Salzsäure 2.464, Essigsäure 2.398, Salpetersäure 2.283, Ammoniak 2.177, Schwefelsäure 1.737, Kalilauge 1.709, Kochsalzlösung 1.672, Bleizuckerlösung 1.560, Meerwasser 1.000. Nach Pfaff: Verdünnte Salzsäure, salzs. Platin, salzs. Eisenoxyd, verdünnte Salpetersäure, Salmiak, salpeters. Silber, conc. engl. Schwefelsäure, salpeters. Quecksilberoxyd, englische Schwefelsäure mit 4 Th. Wasser, starker Weinessig, verdünnte Phosphorsäure, Zinkvitriol, Kupfervitriol, Alaun, salzs. Zinnoxydul, Weinsteinsäure, Ammoniak (0.980), klees. Kali, salpeters. Blei, Eisenvitriol, essigs. Kali, kohlens. Kali und Natrum, salzs. Mangan, weinsteins. Kali, benzoes. Kali, Borax, Brechweinstein, essigsaures Natrum, schwefels. Mangen, chlors. Kali, schwefels. Natrum, salzs. Blei, essigs. Blei, destill. Wasser. (Marianini in Schweigg. J. 49. 22; 284, Förstemann in Kast. Arch. 6. 82.)

Siebentes Kapitel.

Nähere Erörterung der Mittel Electricität zu erregen.

401. Das am längsten bekannte Mittel E zu erregen, ist die Reibung. So verschieden auch die sich reibenden Körper seyn mögen, so erhält doch jedesmal einer derselben +E, der andere —E, in einem Grade, welcher durch mehrere bekannte Umstände, aber auch durch einige uns unbekannte Ursachen bestimmt wird. Gute Leiter geben beim Reiben leichter einen electrischen Strom, als eine Spannung, weil sich die entwickelten E in dem Augenblicke, wo die Reibung aufhört oder auch nur nachläßt, neutralisiren, und daher nicht zu einer leicht und ohne Condensation bemerkbaren Spannung anwachsen. In solchen Fällen bedient man sich demnach zur Prüfung der Beschaffenheit und Größe des erregten electrischen Zustandes eines Multiplicators. Ist einer der sich reibenden Körper ein guter, der andere ein schlechter E Leiter, so läßt sich die E leicht zu einer namhaften Spannung bringen, und durch Electroskope mit oder ohne Condensator wahrnehmen.

402. Die Menge der durch Reiben erregten Electricität hängt von der Natur der sich reibenden Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Geschwindigkeit des Reibens und der dabei Statt findende Druck sind wenigstens beim Reiben des Glases ohne Einfluß. Schon die schwächste Reibung erzeugt bemerkbare E. So z. B. werden Schwefelblumen und Mennig beim Fallen durch die Luft electrisch; der aus einem bestaubten Buche, beim Zusammenschlagen desselben erregte Staub

macht schon die Goldplättchen eines Electroskops divergiren. Die hygroskopische Beschaffenheit der geriebenen Oberfläche ist der E Entwicklung hinderlich, darum taugen auch weiche (meist wasserziehende) Gläser zu Electrisirscheiben nicht gut, und bei feuchtem Wetter, wo selbst hartes Glas mit einer dünnen Wasserschichte überzogen ist, wirken selbst gut eingerichtete Maschinen schlecht; darum hilft das Abwischen mit warmen Tüchern so sehr. Die Größe der sich reibenden Flächen ist nicht ohne Einfluß auf die E Entwicklung, doch ist es kaum möglich, gar große Flächen vollkommen mit einander in Berührung zu bringen. Wo man aber dieses nicht erreicht, da hat man an den von der Berührung ausgeschlossenen Stellen nicht bloß Punkte, die keine E geben, sondern solche, welche die Verbindung der zwei bereits entwickelten E begünstigen. (Peclet in *Ann. de Chim.* 57 337.)

403. Reibt man zwei Metallplatten auf einander, so hängt die Beschaffenheit der E jeder Platte von der Natur derselben ab. In der Reihe: Antimon, Arsenik, Cadmium, Eisen, Zink, Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Palladium, Kobalt, Nickel, Wismuth ist immer das vorhergehende positiv, das nachfolgende negativ electrisch. Die Beschaffenheit der Oberfläche, die Gestalt der sich reibenden Flächen, hat auf die Richtung des so erregten electrischen Stromes keinen Einfluß, nur das mechanische Zertheilen der Masse stört diese Ordnung, und der zertheilte Körper hat in der Regel eine Neigung negativ zu werden; es gibt aber doch Fälle, wo er positiv ist, ja gepulvertes Antimon ist sogar gegen eine Antimonplatte positiv. Metalloxyde und Sulphuride sind in der Regel gegen ihre Metalle negativ. Die Wärme ändert oft die Beschaffenheit der Reibungselectricität. (Becquerel in *Ann. de Chim.* 47. 116; La Rive in Pogg. Ann. 37. 225 und 506.)

Kupferfeile ist negativ gegen Platten von Zink, Blei, Zinn, Eisen, Wismuth, Antimon; mit Platin Gold und Silber wird sie gar nicht electrisch; Zinkfeile aber ist bei der Lufttemperatur positiv gegen Platin, Gold, Silber, Kupfer und Zinn.

404. Für schlechte E Leiter läßt sich nicht leicht eine Reihe finden, wie die vorher angeführte, weil die Beschaffenheit der durch Reibung solcher Körper erregten E nicht bloß von der Natur, sondern auch von der Beschaffenheit der Oberfläche dieser Körper mächtig abhängt. Der Disthen nimmt sogar +E oder —E an, je nachdem man eine oder die andere seiner Fläche mit Seide reibt. Im Allgemeinen hat es den Anschein, als wenn jener Körper die größte Neigung für —E hätte, dessen Theile am meisten aus ihren natürlichen Lage gebracht werden. Wenigstens erklärt es sich daraus, warum von zwei Seidenbändern, die über Kreuz gerieben werden, das nach der Länge der Fasern bewegte positiv, das quer bewegte negativ electrisch wird; warum die Wärme die Körper geneigt macht, negativ electrisch zu werden; warum Seide schnell in der Luft bewegt, positiv und daher die Luft selbst negativ electrisch wird. Cavallo hat es versucht, die Körper in Bezug auf die Beschaffenheit der von ihnen er-

regten Reibungselectricität zu ordnen, und sie in folgende Reihe, vom electro-positivsten angefangen, zusammengestellt: Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas.

405. Der innere Grund der E Entwicklung durch Reibung ist völlig unbekannt. Die beim Reiben entwickelte Wärme scheint nicht zugleich die Quelle der E zu seyn, weil letztere nicht in dem Maße reichlicher entwickelt wird, in welchem sich die Temperatur beim Reiben steigert. Der Umstand, daß sich beim Reiben ein eigenthümlicher Geruch verbreitet, und daß das Amalgam auf den Reibzeugen der E Maschinen ein sehr leicht orydirbarer Körper seyn muß, führt zwar auf die Vermuthung, die Reibung leite einen chemischen Proceß ein, und dieser sey die eigentliche Quelle der E. Allein es ist nicht erwiesen, daß jener Geruch mit der E Entwicklung in nothwendiger Verbindung stehe, ja Davy's Versuche, bei welchen sich ergab, daß eine kleine Electrisirmaschine in Wasserstoffgas, in kohlensaurem Gas etc. E entwickle, und in letzterem sogar mehr als in atm. Luft, ist dieser Ansicht sogar entgegen. Das Wahrscheinlichste ist, daß die durch Reibung erzeugte Molecularbewegung die erste Quelle der E sey.

406. Ein anderes Erregungsmittel der E ist die durch den Druck bewirkte Annäherung ihrer Theile. Schon vor vielen Jahren haben mehrere Physiker hierüber Versuche angestellt und mehrere Körper gefunden, welche durch Druck merklich electrisch werden. Insbesondere fand diese Eigenschaft Haüy in einem hohen Grade an kleinen Doppelspathen. In diesen kann man durch bloßen Druck zwischen den Fingern +E erregen. Eben so hat Libes bemerkt, daß eine isolirte Metallscheibe —E erhält, wenn man sie an gefirnißten Taffet andrückt. Dessaignes hat diese Versuche noch mehr erweitert. Deßungeachtet wußte man noch nicht, ob die Fähigkeit, durch Druck electrisch zu werden, allen oder nur einigen Körpern zukomme, bis durch Becquerel's Untersuchungen die wichtige Wahrheit völlig sicher gestellt wurde, daß durch Druck jeder Körper in einen electrischen Zustand versetzt werden kann. Becquerel verfertigte aus dem zu untersuchenden Körper ein Scheibchen, befestigte es mittelst Siegellack an ein Glasstäbchen, das zur Vermeidung der Electrisirung durch etwaige Reibung mit einer hölzernen Handhabe versehen war, überzeugte sich zuerst, daß hieran gar keine freie E hafte, und drückte nun das Scheibchen an ein zweites eben so befestigtes, isolirtes oder an einen anderen beliebigen Körper. Versuche, die er auf diese Weise mit vielen Körpern, z. B. mit Korkholz, Hollundermark, Cautschouk, Orangeschalen, Stärkmehl, Doppelspath, Gips, Flußspath, Schwerspath, mit mehreren Metallen und selbst mit eingedickten Flüssigkeiten angestellt hat, lehrten, daß die an einander gedrückten Körper, wenn sie isolirt sind, entgegengesetzte Electricitäten zeigen, ist aber nur einer davon isolirt, so gibt zwar dieser immer Spuren freier E, aber am anderen sind die der entgegengesetzten nur dann merklich, wenn er ein schlechter Leiter ist. Welcher von beiden positiv oder negativ electrisch

wird, scheint vom Verhältnisse ihrer Elasticität abzuhängen. Die Menge der E wird durch die Natur der zusammengedrückten Körper, durch die Leitfähigkeit, Temperatur und Beschaffenheit der Oberfläche der gedrückten Stoffe bestimmt. Blätteriger Gips wird durch Druck viel stärker electrisch als Kalkspath. Körper, die sich stark adhäriren, geben mehr Electricität als solche, die dieses nur in einem geringen Grade thun. Bei denselben Körpern und einem mäßigen Drucke ist die entwickelte Electricitätsmenge dem Drucke nahe proportionirt, sobald auch die Berührungsflächen in diesem Verhältnisse wachsen. Je geringer die Leitfähigkeit der zusammengedrückten Körper ist, desto größer wird die Menge der frei gewordenen Electricität bei übrigens gleichen Umständen. Drückt man einen guten und einen schlechten Leiter an derselben Stelle mehrere Male hinter einander mit veränderter Stärke zusammen, so findet man bei der Trennung eine Electricität von solcher Stärke, wie sie dem stärksten Drucke entspricht. Bei guten Leitern vereinigen sich die entgegengesetzten Electricitäten im Augenblicke, wo der Druck aufhört, und man kann nur durch eine sehr schnelle Trennung der Körper einen Theil der frei gewordenen Electricität retten; je geringer aber ihr Leitungsvermögen ist, desto weniger braucht man bei der Trennung eilig zu verfahren, um noch freie E wahrzunehmen. Uebrigens wird aber doch bei einerlei Leitungsvermögen und bei einerlei Druck die Menge der Electricität mit der Schnelligkeit der Trennung im geraden Verhältnisse stehen. Dieses bemerkt man besonders, wenn man eine Kork- und eine Orangenscheibe zusammendrückt, und sie bald schneller bald langsamer von einander trennt. Den Einfluß der Temperatur auf die Electricitätserregung beweiset der Umstand, daß zwei Korkscheiben, die man durch Entzweischneiden eines Stückes erhalten hat, in dem Falle, wo sie durch einen Druck keine electrische Ladung annehmen, sich mit Erfolg in die allgemeine Regel fügen, sobald eines dieser Stücke erwärmt wird. Dasselbe zeigen zwei Doppelspathe. Läßt man aber den Druck so lange anhalten, bis beide Körper wieder dieselbe Temperatur angenommen haben, so wird man sie ohne die geringste Spur der E von einander trennen. Der Feuchtigkeitszustand modificirt die Menge der frei gewordenen E bedeutend; denn man findet, daß z. B. Schwerspath, Gips, Glimmer u. s. w. immer dann nach dem Drucke merkliche E zeigen, wenn sie früher abgetrocknet wurden. Die Beschaffenheit der Oberfläche hat in so weit auf die hier zu erörternden Phänomene Einfluß, als sie die Leitfähigkeit ändert. So wird z. B. der sonst schlecht leitende Doppelspath ein guter Leiter der E, wenn man ihm seine Politur benimmt, und behält dann nur im isolirten Zustande seine Electricität. (Gilb. Ann. 73. 117; Pogg. Ann. 12. 174.)

407. An die Electricitätserregung durch Druck schließt sich unmittelbar die durch Trennung der Theile an. Ein Glimmerplättchen, das gespalten wird, zeigt im Dunkeln ein lebhaftes Licht, Zucker und Kreide thun beim Zerstoßen dasselbe. Daß dieses electrischen Ursprunges sey, erkennt man daraus, daß, wenn man an einem Glim-

merplättchen die Spaltung nur an einem Ende macht, hierauf die Blätter an isolirte Handgriffe befestiget und mit diesen die Trennung vollendet, diese Blätter sich merklich electrisch zeigen. So wie Glimmer verhalten sich alle blätterigen und überhaupt alle vollkommen krystallisirten Körper, wenn sie rein gespalten, nicht zerrissen oder gebrochen werden; doch geschieht dieses nicht beim Spalten nach jedem, sondern nur nach einem bestimmten Blätterdurchgange. So z. B. erscheinen Theilungsstücke eines Topases nur dann electrisch, wenn die Spaltung nach dem auf der Hauptaxe senkrechten Blätterdurchgange vorgenommen wurde. Das Electrisiren durch Spalten ist dem durch Drücken sehr ähnlich. Denn wird z. B. ein Glimmerblatt gespalten und dann jeder der zwei Theile durch Berühren mit der Hand seiner Electricität beraubt, dann aber wieder zusammengedrückt; so findet man sie wieder nach dem Auseinandernehmen eben so electrisch wie nach der ursprünglichen Trennung (Pogg. 12. 150). Nach Dumas zeigt Borsäure, die in einem Platintiegel geschmolzen worden ist, hierauf aber fest wird und kleine Sprünge bekommt, an jedem Sprunge ein lebhaftes Licht, das man selbst bei Tage bemerken kann. In einer Bewegung, wie sie bei der Trennung der Körpertheile Statt hat, scheint auch das Electrischwerden vibrirender Platten seinen Grund zu haben. (*Compt. rendu* 6. 48. Pogg. Ann. 43. 187.)

408. Weil der electrische Strom chemische Wirkungen erzeugt, so ist es schon darum wahrscheinlich, daß chemische Processe, die ohne Einfluß der E vor sich gehen, mit E Entwicklungen verbunden seyen, und die Richtigkeit dieser Vermuthung wird durch folgende Erfahrungen bestätiget: Verbindet man zwei völlig gleiche Gold- oder Platinplättchen mit einem Multiplicator und taucht sie dann, entweder beide zugleich oder eines nach dem anderen, in Salpetersäure; so bleibt die Magnetnadel ruhig, zum Beweise, daß durch das Eintauchen kein electrischer Strom erregt worden sey. Nimmt man aber statt Gold oder Platin oxydirbare Metallplatten, z. B. von Kupfer oder Zink, und taucht zuerst die eine, dann die andere in die Säure, so tritt alsogleich ein electrischer Strom ein, aus dessen Richtung man erkennt, daß das zuerst eingetauchte, also der stärkeren chemischen Einwirkung ausgesetzte Plättchen negativ electrisch geworden sey. Dasselbe erfolgt, wenn man Platin- oder Goldplättchen gleichzeitig in Salpetersäure taucht und dann in die Nähe des einen einen Tropfen Salzsäure gießt, die Königswasser erzeugt, wodurch das Metall chemisch angegriffen wird. Der Erfahrung zu Folge wird das angegriffene Metall stets negativ, die Flüssigkeit positiv electrisch. Selbst bei nicht metallischen Körpern wirkt die chemische Action auf gleiche Weise, und es erscheint Holz, Wachs, Leim, Zucker rc. in starker Schwefelsäure negativ, die Säure positiv electrisch. Besonders ist diese E des angegriffenen Körpers bemerklich, wenn die Flüssigkeit gleich nach der Einwirkung verdampft. Gibt man in ein Gefäß eine Säure, in ein anderes ein Alkali und verbindet beide mit einander durch einen in Wasser getränkten

Asbestfaden, nachdem man in jedes dieser Gefäße ein Ende eines Multiplicators getaucht hat; so tritt alsogleich eine Ablenkung der Magnetnadel ein, als Alkali und Säure durch Aufsaugen in dem Asbestfaden sich berühren und sich chemisch zu verbinden anfangen. Dabei zeigt sich die Säure positiv, das Alkali negativ electrisch. Der Satz, daß bei chemischen Verbindungen einer Säure mit einem Alkali erstere positiv, letzteres negativ electrisch werde, gilt in seiner ganzen Allgemeinheit, selbst in Bezug auf den relativen und erweiterten Begriff einer Säure (I. 67). So z. B. wird Wasser, wenn es sich mit einer Säure verbindet, mithin die Rolle einer Basis spielt, negativ; wenn es mit Alkali oder einem Oxyde eine chemische Verbindung eingeht, wo es als Säure wirkt, positiv electrisch, gerade so, wie obige Regel sagt. Von zwei ungleich gesättigten Salzlösungen wird bei der chemischen Vereinigung derselben stets die stärkere positiv, die schwächere negativ. Gegenseitige Zersetzungen von Neutralsalzen geben keine E. Man kann annehmen, daß beim Verbrennen der Sauerstoff (Zündstoff) die Rolle einer Säure, der Brennstoff jene einer Basis spiele, und in der That erscheint nach Pouillet's Versuchen das Verbrennungsproduct positiv, der Brennstoff negativ electrisch. (*Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme par M. Becquerel. Paris* 1834. 2. 245; La Rive in Pogg. Ann. 37. 506.)

Pouillet stellte einen Kohlencylinder, in leitender Verbindung mit der Erde, unter die Bodenplatte eines Condensators und zündete ihn an. Die aufsteigende Säule von Kohlensäuregas zeigte sich positiv electrisch. Wurde dieser Cylinder auf die obere Platte des Condensators gestellt und das Brennen durch einen Luftstrom unterstützt; so zeigte sich der Cylinder negativ electrisch. Bei derlei Versuchen muß man wohl bedenken, daß auch die Temperaturänderung E erzeugen kann. Bei Experimenten über E Entwicklung durch chemische Wirkung, bei denen man die freie E in ihrer Spannung erkennen will, hat man wohl zu bedenken, daß die Größe dieser Spannung mitunter auch von der Leitungsfähigkeit der betreffenden Substanzen abhängt. Daher ist es oft von Nutzen, eine der beiden E in die Erde abzuleiten, um der anderen mehr Freiheit zu verschaffen. Die Wichtigkeit dieses Verfahrens geht aus folgenden, von La Rive angestellten Versuchen hervor: Erhitzt man einen Schmelztiegel und gießt einige Tropfen Flüssigkeit hinein, die auf ihn chemisch wirkt, so wird dadurch E erregt; weil aber die Flüssigkeit schnell verdünstet, so führt sie die + E weg und macht dadurch — E frei. Nimmt man statt einiger Tropfen eine größere Menge Flüssigkeit, so reicht die Wärme nicht hin, dieselbe in Dünste zu verwandeln, die — E wird nicht fortgeführt, und daher auch + E nicht bemerkbar.

409. Es ist schon früher gesagt worden, daß die gegenseitige Berührung zweier ungleichartigen Metalle Veranlassung zum Electrischwerden derselben gebe, und daß immer eines positiv, das andere negativ electrisch erscheine. Wir wollen mit Volta die diese Wirkung erzeugende Kraft electromotorische Kraft nennen, ohne vor der Hand in eine nähere Erörterung ihrer Natur einzugehen. Daß man diese Kraft mittelst des Condensators bestimmen könne, ist für sich

klar. Noch leichter kommt man aber dahin, wenn man nicht die electrische Spannung eines Plattenpaares oder einer Volta'schen Säule, sondern den electrischen Strom, in Bezug auf Richtung und Stärke, mit einem Multiplicator untersucht; denn da werden schon die kleinsten Differenzen der electromotorischen Kraft, die man selbst mit dem besten Condensator nicht ersichtlich machen kann, bemerkbar. Untersuchungen dieser Art haben gezeigt, daß sich alle festen Körper, wenn sie gute E Leiter sind, in eine Reihe (Spannungsreihe) zusammenstellen lassen, in welcher sie so auf einander folgen, daß ein vorhergehender mit jedem nachfolgenden durch Berührung positiv, mithin jeder folgende mit dem vorhergehenden negativ electrisch erscheint, und die Menge der von einem Körperpaare erregten Electricität bei übrigens gleichen Umständen desto größer erscheint, je weiter die dieses Paar constituirenden Körper in dieser Reihe von einander abstehen. Demnach ist derjenige, welcher diese Reihe beginnt, mit allen anderen positiv, derjenige, welcher sie schließt, mit allen übrigen negativ electrisch, und diese zwei Körper geben durch gegenseitige Berührung die meiste Electricität. Uebrigens ist die electrische Spannung desselben Paares vollkommen constant, und es herrscht in ihm immer dieselbe electrische Differenz; es mögen beide Körper isolirt seyn oder einer derselben mit der Erde in leitender Verbindung stehen. Erscheint einer der beiden Stoffe, wenn das Paar isolirt ist, mit der Spannung $+ a$, der andere mit der Spannung $- a$, und herrscht demnach zwischen ihnen die electrische Differenz $2a$, so muß, damit diese Differenz dieselbe bleibe, in dem Falle, wo einer, z. B. der negative, wegen leitender Verbindung mit der Erde, in den natürlichen Zustand versetzt wird, die Spannung des anderen auf $2a$ erhöht werden. Kommen mehrere feste Leiter unmittelbar mit einander in Berührung, so ist der Erfolg derselbe, als wenn nur der erste und letzte Körper allein einander berührten, und überhaupt ist die Spannung zweier Körper, welche in der Spannungsreihe nicht unmittelbar auf einander folgen, gleich der Summe der Spannungen aller in dieser Reihe zwischen den betreffenden Körpern liegenden. In einem aus zwei festen und einem flüssigen Leiter bestehenden Elemente oder in einer Volta'schen Säule hängt die Beschaffenheit der Spannung und die Richtung des Stromes nicht allein von dem Platze der festen Leiter in der Spannungsreihe, sondern auch von der Flüssigkeit ab, und diese kann die durch Berührung der festen Körper bedingte Spannung vermehren, vermindern oder gar in die entgegengesetzte verwandeln und den Strom umkehren.

Marianini hat folgende Spannungsreihe durch Versuche mit dem Multiplicator gefunden: Kohle, die lange der Luft ausgesetzt war; strahliges Graubraunsteinerz; Graumanganerz; unkrystallisirter Schwefelkies; magnesiahaltiger Magnetkies; kryst. Arsenikkies; Graphit; gediegenes, goldhaltiges Tellur; Gold; Platin; Kupferkies; Blättertellur; Kobaltglanz; Fahlerz; Arseniknickel; frisch bereitete, langsam in der Luft erkaltete Kohle; oxydulirtes Schwefeleisenerz; Bleiglanz; glänzendes Rothgültigerz; Antimonsilber und wenig oxyd. Arsenik; Queck-

silber: Silber; angelauf. Spießglanz; Arsenik; Molybdänglanz; kryst. Zinnstein; angelauf. Kupfer; glänzender Spießglanz; erhitzte und dann schnell im Wasser abgelöschte Kohle; Nickel; angelauf. Wismuth; sehr oxyd. Messing; glänzendes Kupfer; Messing; kryst. Magneteisen; Eisen; angelauf. Blei; Mangan; Zinn; glänz. Blei; lebhaft brennende, dann in Wasser getauchte und hierauf geprüfte Kohle; Zink. — Pouillet stellt folgende Spannungsreihe auf: Platin; Palladium; Tellur; Gold; Silber; Phosphoreisen; Schwefelblei; Schwefelkupfer; Reißblei; Antimon; Phosphorkupfer; Schwefelwismuth; Quecksilber; Legirung aus 1 Antimon, 1 Zinn; Leg. aus 1 Antimon, 2 Kupfer; Arsenik; Glockenmetall; Schwefelantimon; Bronze; Kupfer; Messing; Wismuth; reines Antimon; Leg. aus 1 Wismuth, 4 Quecksilber; Leg. aus 1 Antimon, 2 Eisen; Stahl; Eisen; Schriftmetall; Zinn; Leg. aus 1 Wismuth, 20 Zinn; Leg. aus 1 Zinn, 10 Quecksilber; Blei; Schnellloth; d'Arcetisches Gemische; Leg. aus 1 Blei, 4 Quecksilber; Zink, Zinn und Quecksilber. Volta's Reihe ist folgende: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Reißblei, mehrere Kohlenarten, kryst. Braunstein. Nach diesem Gelehrten ist die electrische Differenz zwischen Zink und Blei = 5, zwischen Blei und Zinn = 1, zwischen Zinn und Eisen = 3, zwischen Eisen und Kupfer = 2 und zwischen Kupfer und Silber = 1. Demnach ist die electrische Differenz zwischen Zink und Kupfer = 5 + 1 + 3 + 2 = 11, und jene zwischen Zink und Silber = 5 + 1 + 3 + 2 + 1 = 12. Nach Munk af Rosenschöld erregen selbst schlecht leitende Körper Berührungselectricität. Einer derselben, nämlich Bleisuperoxyd soll sogar der stärkste negative Electromotor seyn. (Pogg. Ann. 35. 46.) Jede dieser Reihen gilt nur für bestimmte flüssige Leiter, und kann für andere anders, ja gerade umgekehrt ausfallen. So z. B. fand Davy mit gewöhnlichen Säuren folgende Reihe: Rhodium, Iridium, Platin, Kohle, Gold, Tellur, Palladium, Silber, Kupfer, Blei, Antimon, Wismuth, Eisen, Zinn, Cadmium, Ammoniumamalgam, Zink, Zinkamalgam, Barium und sein Amalgam, Kalium und seine Amalgame. Mit Alkalilösungen: Platin, Gold, Palladium, Silber, Eisen, Kupfer, Blei, Zinn, Zink, Alkalimetalle und ihre Amalgame. Mit Schwefelleberlösungen: Kohle, Gold, Palladium, Platin, Silber, Wismuth, Eisen, Kupfer, Zinn, Zink. La Rive erhielt folgende Reihe: Mit verdünnter Salpetersäure: Silber, Kupfer, oxydirtes Eisen, Blei, Quecksilber, Zinn, Zink. Mit conc. Salpetersäure: Oxydirtes Eisen, Silber, Quecksilber, Blei, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn. — Die kleinste Aenderung der chemischen Natur oder selbst der Oberfläche der Electromotoren ändert den electromotorischen Rang eines Körpers. Zwei ganz gleiche Zinkplatten geben keine E, wenn sie sich gegenseitig berühren; wird aber eine davon mit einer Silberplatte auch nur einmal gerieben, oder läßt man sie einige Zeit mit einer solchen in Berührung, so gibt sie, mit der anderen in Verbindung, — E.

410. Die Spannung in einem Plattenpaare von bestimmter Natur ist gleich groß, die Platten mögen was immer für eine Ausdehnung oder Oberfläche haben; die in einer solchen erregte freie Electricitätsmenge muß demnach der Größe der Oberfläche proportionirt seyn. Wird ein solches Plattenpaar durch einen flüssigen Leiter zu einem Volta'schen Elemente umgestaltet, so kommt zu der durch Berührung der Metalle hervorgerufenen E auch noch diejenige, welche das Metall mit einem flüssigen Leiter liefert; wird endlich die Kette geschlossen

und tritt ein electrischer Strom ein, so richtet sich die Menge der strömenden Electricität nebst der Natur der Erreger, des flüssigen Leiters und des Schließungsdrahtes auch noch nach der absoluten und relativen Größe der Erreger und nach der Leitkraft der ganzen Kette. Den Einfluß der Natur der Erreger zeigt die Spannungsreihe. Der flüssige Leiter erhöht die Stromstärke desto mehr, je größer seine chemische Wirkung auf den positiven, und je kleiner sie auf den negativen Erreger außerhalb der Kette ist, und je besser er leitet. Er muß immer ein Electrolyt seyn, wiewohl er nicht nothwendig eine wirkliche Zersetzung erleiden muß. Bei gleicher Natur und Größe der Erreger und des Leiters steigt die Stromstärke mit der Größe des eingetauchten Theiles der ersteren. Eine gleiche Größe beider Erreger gibt nur dann den größtmöglichsten Effect, wenn die Flüssigkeit eine sehr starke chemische Wirkung auf den positiven Erreger ausübt, und je geringer diese Wirkung ist, desto größer kann die Ausdehnung des negativen Erregers gegen jene des positiven seyn; doch gibt es für jede Flüssigkeit ein bestimmtes Größenverhältniß beider Electromotoren, bei welchem ihre Wirkung den größten Werth erreicht. Hierbei zeigen sich alle eingetauchten Theile der Erreger thätig, und jeder trägt zur Stromstärke seinen Theil bei; die von einander abgewendeten Stellen der beiden Metalle aber wegen ihres größeren gegenseitigen Abstandes weniger als die einander zugekehrten Kanten und Ecken, kurz alle der Einwirkung des flüssigen Leiters stärker ausgesetzten Theile stets mehr, als ebene und flache Stellen. Je näher sich die Erreger stehen, und je dünner die ganze dazwischen befindliche Flüssigkeitsschichte ist, desto stärker fällt der Strom aus, so daß man in Bezug auf Stromstärke das durch Annäherung der Platten ersetzen kann, was ihnen Mangel an hinreichend absoluter oder relativer Größe benimmt. Ein Neigen der Platten gegen einander hat nur in sofern einen fördernden oder hemmenden Einfluß auf die Stromstärke, als dadurch ihr gegenseitiger mittlerer Abstand, d. h. die mittlere Dicke der flüssigen Schichte vermindert oder vermehrt wird. Rauhmachen des positiven Metalles oder Durchbohren desselben, fördert die Wirkung der Flüssigkeit auf dasselbe, und erhöht dadurch die Stromstärke. Je schlechter der Schließungsdraht leitet, desto schwächer ist der Strom; da ein langer Draht weniger Leitungskraft besitzt als ein kürzerer, so muß natürlich mit wachsender Länge dieses Körpers der Strom abnehmen. Uebrigens verhält sich die Stromstärke genau verkehrt, wie die wahre Länge der Kette. (Casari in Zeitsch. n. F. 4. 185 und 273.)

411. Alles, was in Betreff der gegebenen Erklärung auf Spannung und Stromstärke eines Plattenpaares oder eines Elementes Bezug hat, gilt auch von der Volta'schen Säule, da diese nur eine Wiederholung einzelner Elemente ist. In Bezug auf den electrischen Strom begründet nur der Umstand einen Unterschied zwischen einer Summe von einzelnen Elementen und einer aus eben so vielen zusammengesetzten Säule, daß der Strom jedes Elementes durch die übrigen

Elemente gehen muß, und daher einen Leitungswiderstand in demselben erfährt. Daraus entstehen die 355 näher erörterten Verhaltungsweisen.

412. Ueber den Ursprung der hier besprochenen E sind die Physiker verschiedener Meinung. Volta und Jene, die ihm folgen, sehen die Berührung der Metalle als die unmittelbare (nicht bloß veranlassende) Ursache des Electrischwerdens, mithin als eigentliche Electricitätsquelle an; Andere, wie Fabroni, Parrot, Wollaston, Faraday, La Rive ꝛc. leiten diese E aus einer chemischen Wirkung her, welche Flüssigkeiten auf Metalle ausüben. Beide Parteien führen Gründe für sich an, und beiden werden Gegengründe gegenüber gestellt, ohne daß der einen oder der anderen hiedurch ein entschiedenes Uebergewicht zu Theil würde, so daß hier nichts erübrigt, als die Ansichten beider aus einander zu setzen, die starken und schwachen Seiten beider zu zeigen, und hierauf das folgen zu lassen, was nach unserer Ansicht der Wahrheit am nächsten zu stehen scheint.

413. Die Anhänger der Contacthypothese nehmen an, es werde durch Berührung der Metalle unter sich eine electromotorische Kraft geweckt, deren Wirksamkeit darin besteht, das electrische Princip in den sich berührenden Körpern zu zersetzen und einen bestimmten Antheil +E in dem einen, einen entsprechenden Antheil —E in dem anderen Metalle anzuhäufen und deren Wiedervereinigung über die Grenze der Berührungsstelle zu verhindern. Die Spannungsreihe der Metalle und der festen Leiter stellt die relative Größe dieser Kraft zwischen zwei Stoffen der Reihe dar. Flüssige Körper können zwar mit flüssigen oder festen auch eine solche Kraft wecken, aber diese ist anderer Natur als die vorher genannte, und darum geben feste und flüssige Stoffe unter sich keine Spannungsreihe, aber die gesammte, in einem Elemente, d. i. in zwei Erregern und einem flüssigen Leiter frei gewordene E begreift nicht bloß die durch Berührung der Metalle, sondern auch durch Berührung eines Metalles mit der Flüssigkeit erregte E Menge. Werden mehrere Paare von Electromotoren mit einem flüssigen Leiter zu einer Säule zusammengestellt, so ist jeder flüssige Leiter sowohl, als jeder Electromotor zugleich ein Leiter der E; er nimmt von der E der Umgebung so viel auf, als das Gleichgewicht fordert und leitet es weiter, und das, was ein Körper auf solche Weise durch Mittheilung an die übrigen verloren hat, ersetzt die electromotorische Kraft wieder. Daher kommt es, daß eine solche Säule eine der Anzahl ihrer Plattenpaare proportionirte electrische Spannung annimmt.

Es sey in einem Plattenpaare aus Zink und Kupfer die Electricitätsmenge des Zinkes +a, die des Kupfers —a, und man bringe auf die Kupferplatte einen leitenden, feuchten Lappen L, den wir vor der Hand als nicht electromotorisch wirkend ansehen wollen. Dieser nimmt von der Kupferplatte so viel E auf, daß er mit ihr eine gleiche Spannung erhalt, dieser Verlust wird aber im Kupfer augenblicklich durch die fortwährend thätige electromotorische Kraft wieder ersetzt und sein Electricitätszustand ist wieder —a. Es haben daher die Theile der Säule ZKL in der Ordnung wie sie auf einander folgen, die Elec-

tricitäten $+a, -a, -a$. Legt man auf L eine zweite Zinkplatte Z, so nimmt auch diese durch den feuchten Leiter an der Electricität der ersten Kupferplatte Theil, und der Zustand der Säule Z K L Z ist in ihren einzelnen Theilen folgender: $+a, -a, -a, -a$. Nun lege man auf Z ein zweites K. Als Leiter nimmt dieses K die Electricität $-a$ an, als Erreger erhält es abermals $-a$, das Z bekommt $+a$, und dieses $+a$ wird allen rückwärts befindlichen Gliedern mitgetheilt, so daß demnach in der Säule folgende electrische Zustände Statt finden:

	Z	K	L	Z	K
Das erste Element als Erreger, das zweite als Leiter	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das zweite Element als Erreger, das erste als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$.
Beide Elemente als Leiter und Erreger	$+2a$,	o	o	o	$-2a$.

Auf ähnliche Weise erhält man in einer Säule aus drei Elementen folgende Electricitätszustände der einzelnen Theile:

	Z	K	L	Z	K	L	Z	K
Das erste Element als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das zweite als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$.
Das dritte als Erreger, die übrigen als Leiter	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$.
Alle drei Elemente als Leiter und Erreger	$+3a$,	$+a$,	$+a$,	$+a$,	$-a$,	$-a$,	$-a$,	$-3a$

Es nimmt demnach die Spannung sowohl der Zink- als der Kupferplatten von ihrem Pole an nach der entgegengesetzten Seite ab, wie die Glieder einer arithmetischen Reihe, gerade wie es die Erfahrung zeigt. Die Differenz zwischen der letzten Zink- und Kupferplatte ist hier $= 6a$. Steht aber die Kupferplatte mit der Erde leitend in Verbindung, so ist ihre $E = 0$; und daher, wenn dieselbe electrische Differenz zwischen den äußersten Platten Statt finden soll, jene der äußersten Zinkplatte $= 6a$, doppelt so groß als vorhin. Hier ist aber auf die electromotorische Kraft des flüssigen Leiters keine Rücksicht genommen worden. Kommt auch diese in Rechnung, so wird dadurch die E der Säule größer oder kleiner, je nachdem die electromotorische Kraft der Flüssigkeit jene der festen Erreger unterstützt oder ihr entgegen wirkt.

414. Die Hypothese des chemischen Ursprunges der E spricht sich, wenigstens im Sinne ihres beharrlichsten Vertheidigers, La Rive, folgendermaßen aus: Wird ein Metall in ein gasförmiges oder tropfbares Mittel gebracht, welches es anzugreifen vermag, so wird, sobald die chemische Thätigkeit beginnt, seine natürliche E zersetzt, und es vereinigt sich ein Bestandtheil desselben mit dem Metalle, der entgegengesetzte mit der Flüssigkeit. Besteht die chemische Wirkung in einer bloßen Verbindung der Atome der Flüssigkeit mit jenen des Metalles, so wird letzteres positiv, erstere negativ electrisch; besteht aber der chemische Proceß zugleich in einer Verbindung und Trennung der Atome, so hängt es davon ab, welche von beiden mehr E liefert, denn immer ist die bei der Trennung der Atome eintretende Electrisirung jener bei der Verbindung derselben Statt findenden entgegengesetzt, und daher das Resultat beider Processe von der Differenz ihrer Wirkungen abhängig. Die Intensität der bei einem derlei Processe frei werdenden E richtet sich nach der Natur der sich trennenden oder

verbindenden Atome und nach den Hindernissen, die der Wiedervereinigung beider frei gewordenen E im Wege stehen. Befinden sich zwei sich berührende Metalle in einem auf beide, jedoch mit ungleicher Stärke chemisch wirkenden Mittel, so werden auch beide electrisch, und zwar ist immer das mehr angegriffene positiv, das andere negativ. Werden mehrere solche Paare mittelst eines flüssigen Leiters zu einer Volta'schen Säule zusammengestellt, so dienen für jedes Paar alle übrigen als Leiter, die gleichzeitig in demselben Körper vorkommenden entgegengesetzten E neutralisiren sich, und so kommt es, daß sich die positive E nach einer, die negative nach der anderen Seite zu anhäuft.

Der wesentliche Unterschied zwischen diesen beiden Ansichten besteht demnach in Folgendem: Nach der Berührungshypothese wird E durch eine den Metallen inwohnende, in denselben durch Berührung erregte, von allen bekannten Kräften verschiedene Kraft hervorgerufen, ohne materielle Veränderung dieser Metalle; beide spielen dabei eine active Rolle, der feuchte Leiter verhält sich theils passiv, indem er die E der festen Erreger leitet, theils activ, wenn er selbst electromotorisch wirkt. Nach der chemischen Hypothese wird nur die E, welche in dem feuchten Leiter gebunden war, frei, weil die chemische Vereinigung seiner Bestandtheile aufhört und die E Entwicklung gehört in die Reihe der in 408 betrachteten. Die Metalle, entweder beide oder nur eines derselben, wirken nur durch ihre Verwandtschaft zu den Bestandtheilen des flüssigen Leiters; es ist eine Berührung von zweien vortheilhaft, damit ein Gegensatz chemischer Wirkungen Statt finde und die E, welche die weitere Zersetzung des Leiters und die Oxydation eines Metalles hindert, in das andere abgestoßen werden könne; die Flüssigkeit wirkt daher durch die chemische Verwandtschaft ihrer Bestandtheile und durch ihre Zersetzbarkeit. Während nach der Berührungshypothese die Körper in zwei Classen zerfallen, nämlich in solche, welche als Electromotoren und Leiter, und in solche, welche bloß als Leiter wirken; so sind sie nach der chemischen Hypothese entweder Leiter, ohne Electrolyte zu seyn, oder Leiter und Electrolyte zugleich. Nach der Berührungshypothese wird die Vereinigung der durch Berührung von einander getrennten E von der electromotorischen Kraft verhindert, nach der chemischen Hypothese stehen der Vereinigung der zwei entwickelten E nur gewöhnliche Leitungswiderstände entgegen, und die chemische Wirkung ersetzt fortwährend, so lange sie fortdauert, das, was durch Neutralisirung der beiden E verloren gegangen ist.

415. Zu Gunsten der Berührungs- und gegen die chemische Hypothese spricht die Erfahrung Pfaff's, daß ein Zinkkupferelement auch in vollkommen trockenem, kein Oxygen enthaltenden Wasserstoff-, Kohlenwasserstoff-, Stickstoff- und Kohlensäuregase, ja sogar im leeren Raume electrische Spannung zeigt (*Ann. de Chim.* 41. 236); daß der mit einem solchen Elemente unter den gewöhnlichen Verhältnissen in der Luft vorgenommene Fundamentalversuch immer dasselbe Resultat gibt, so oft man ihn auch hinter einander anstellen mag, welches doch nicht seyn könnte, wenn eine Oxydation des Zinkes die Electricitätsentwicklung begründete; daß die Spannung einer nicht isolirten Säule von der Natur des flüssigen Leiters unabhängig ist; fer-

ner, daß ein Goldplatinelement in der Luft electrisch erscheint, ohne daß man eine chemische Wirkung des Wassers oder der Luft auf eines der zwei Metalle wahrnehmen kann; daß eine zweielementige Säule ohne Spur einer chemischen Wirkung E entwickelt; endlich, daß sich, wie in der Folge gezeigt werden soll, in einer Kette von edlen Metallen, die sich in der Luft nicht oxydiren, durch bloßes Erwärmen der Verbindungsstelle zweier solchen Metalle ein electrischer Strom eintritt, der so lange anhält, als die verlangten Temperaturbedingungen vorhanden sind. Aber jedes Bemühen, einen vollkommen entscheidenden Versuch, ein sogenanntes experimentum crucis, zu Gunsten dieser Ansicht anzustellen, ist bis jetzt vergebens gewesen, indem die unter diesem Namen angeführten Experimente, streng genommen, weder für, noch gegen diese Vorstellungsart etwas beweisen. Dagegen sprechen für die chemische und gegen die Berührungshypothese folgende Erfahrungen: Der flüssige Leiter hat einen entschiedenen Einfluß auf die Stärke und Beschaffenheit des electrischen Stromes eines Electromotors, dieser muß immer ein zersetzbarer Körper seyn, und je größer seine chemische Wirkung auf die sogenannten Electromotoren ist, ein desto stärkerer Strom wird in der Regel hervorgerufen. Zwei in einem flüssigen Leiter stehende Metalle sind schon electrisch, bevor sie sich selbst berührt haben, denn es entsteht schon vor Herstellung ihrer Berührung ein Funke. Den großen Einfluß, den die Beschaffenheit der Oberfläche eines Metalles und seiner größeren Rauhheit oder Glätte auf seine Stelle in der Spannungsreihe ausübt, den Einfluß der relativen Größe der beiden Electromotoren, die größere Wirkung der Ecken, Kanten und Spitzen 2c. lassen sich wohl aus der chemischen, aber nicht aus der Contacthypothese einsehen. Endlich läßt sich nachweisen, daß in einem Elemente die durch Zersetzung des feuchten Leiters frei gewordene Electricität der Quantität nach gerade so groß sey, als die, welche die Oxydation des einen Metalles fordert 2c.

Salpetersäure ist bei einem Zinkplatinelemente sehr, bei einem Goldplatinelemente gar nicht oder nur sehr wenig wirksam. Eisen ist gegen Kupfer in einer Salzlösung oder Säure positiv, in einer Schwefelleberlösung negativ electrisch. Eine Kette aus Kupfer und Eisen zeigt in einer Schwefelleberlösung gleich Anfangs einen sehr starken electrischen Strom; dieser nimmt aber zusehends ab, und geht endlich in den entgegengesetzten über. Dasselbe bemerkt man an einer Bleizinnkette, in concentrirter Salpetersäure. Merkwürdig und entscheidend ist folgender Versuch, den Faraday angestellt hat: Es wurde ein amalgamirter abgewogener Zinkstreif A in Schwefelsäure getaucht, die sich in einer pneumatischen Wanne befand, und auf 1 Maß Säure 30 Maß Wasser enthielt, und eine mit derselben Säure gefüllte Flasche darüber gestürzt. In dieselbe Wanne und auch unter dieselbe Flasche wurde noch ein zweiter abgewogener amalgamirter Zinkstreifen B gebracht und mit Platin in Berührung gesetzt. Während am ersteren kaum eine Luftblase zu bemerken war, trat am Platin eine starke Wasserstoffgasentwicklung ein, und der Zinkstreifen B wurde sichtlich oxydirt. Als der Versuch 10—12 Minuten gedauert hatte, wurde er abgebrochen, der Streifen A herausgenommen, mit destillirtem Wasser gewaschen,

getrocknet und gewogen. Man fand sein Gewicht unverändert. Als dasselbe mit dem Streifen B vorgenommen wurde, fand man, daß er durch Oxydation 3.45 Gran verloren hatte. Das entwickelte Wasserstoffgas betrug 12.15453 K. Z., und daher der Sauerstoff, der damit in Verbindung war 6.02726 K. Z., so daß demnach zu schließen war, es seyen 2,3535544 Gran Wasser zersetzt worden. — Dieses Gewicht verhält sich demnach zu jenem des oxydirten Zinkes wie 2.35 : 3.45, d. h. wie die electrischen Aequivalente des Wassers und Zinkes, und die aus der Wasserzersetzung frei gewordene E reicht vollkommen und gerade hin, um so viel Zink zu oxydiren, als wirklich oxydirt worden ist.

416. Aus dieser Darstellung ersieht man, daß jede der beiden Hypothesen ihre schwache Seite habe, und in Aufdeckung dieser ist man bisher viel glücklicher gewesen, als im Hinwegräumen der Schwierigkeiten. Jede der beiden Parteien läßt Gründe gelten, die keine strenge Kritik aushalten, verweigert aber der Gegenpartei den Gebrauch gleicher Hilfsmittel. Uebrigens finden die Anhänger der Contacthypothese überall leichter Rath, als die der chemischen Ansicht, weil sich die electromotorische Kraft überall, wo man sie und so wie man sie braucht, annehmen läßt, während die chemischen Gesetze unabhängig von der Electricität feststehen und nicht nach Belieben gemodelt werden können. Im Allgemeinen muß man bekennen, daß die Anhänger der chemischen Hypothese das Electrischwerden zweier sich berührenden Metalle nicht genügend zu erklären wissen, und daß die Vertheidiger der Contacthypothese die Rolle des flüssigen Körpers in der einfachen oder zusammengesetzten, geschlossenen Kette nicht genügend ins Reine zu bringen verstehen. Alles zusammen genommen zeigt, daß keine der beiden Hypothesen der Wahrheit nahe komme, und darum mag hier eine andere Ansicht Platz haben. Die Physiker halten schon längst die Kräfte, welche der Adhäsion, und jene, welche der chemischen Verwandtschaft zum Grunde liegen, nicht für wesentlich verschieden; ja einige haben es sogar versucht, die Verwandtschaftsgrade nach der Größe der Adhäsion zu bestimmen. (Scholz's Physik. 4. Aufl. 1. 152.) Es ist dem Geiste der Wissenschaft nach ihrem gegenwärtigen Stande nicht unangemessen, die chemische Anziehung als eine verstärkte Adhäsionskraft anzusehen. Prechtl (Pogg. Ann. 15. 223) hat in der That die innige Verbindung zwischen der Adhärenz der Metalle und ihrer electrischen Differenz, d. h. ihrer relativen Stelle in der Spannungsreihe nachgewiesen; Becquerel hat gezeigt, daß auch durch Capillaritätswirkung, die bekanntlich ganz auf der Adhäsion und Cohärenz beruht, Electricität erregt werde. Ferner ist aus Girard's Versuchen, so wie aus der Theorie der Haarröhrchen (Pogg. Ann. 5. 41) bekannt, daß die Adhäsion eine Aenderung der Dichte der flüssigen an feste grenzenden Körperschichten bewirke. Auf diese Thatsachen gestützt, denken wir uns die Electricitätserregung bei einem Volta'schen Elemente als den Erfolg der Molecularveränderung, welche sich berührende Körper, zwischen denen eine Adhäsion Statt findet, durch die Adhäsionskraft erleiden. Die Veränderung bezieht sich oft nur auf die Dichte der sich

berührenden Körper, und zwar oft sogar nur auf die der Berührungsstelle nächsten Schichten; bei intensiver Kraft und günstigen Umständen aber auch auf die chemische Natur der Körper. Diese Ansicht bedarf nicht der Annahme einer neuen Kraft, wie jene der Contacthypothese, und macht doch das Erscheinen von Electricität ohne chemische Wirkung erklärbar, sie hat mit der chemischen Hypothese gemein, daß sie wie diese die Erscheinungen einer einfachen Kette aus den Molecularkräften ableitet, daß der flüssige Körper durch diese Kraft und nicht bloß als Leiter wirksam gedacht wird, und daß die Bestandtheile der Kette durch ihre physische Veränderung die Quelle der Electricität werden, die Berührung aber diese Veränderung möglich mache, mithin nur veranlassende, nicht die eigentlich wirkende Ursache des Electrischwerdens sey. Sie steht nach ihrem Sinne der chemischen Hypothese näher als der Contacthypothese, welche eine E Entwicklung ohne weitere Veränderung der Körper annimmt, ja die chemische Ansicht ist ein besonderer Fall von dieser. Das gleichzeitige Auftreten chemischer Wirkungen mit E Entwicklungen, und daß die chemische Kraft einer einfachen Kette in dem Maße ab- und zunimmt, wie die chemische Wirkung zu dem flüssigen Leiter und den Bestandtheilen der Kette kleiner oder größer wird, steht mit dieser Ansicht im besten Einklange. Es geht aus derselben hervor, daß die electrische und die Molecularkraft eines und dasselbe sind, und daß letztere jedesmal als Electricität erscheint, wenn sie aus einer Wirkungsweise in eine andere übergeht, wie z. B., wenn sie aufhört, die Bestandtheile des Wassers zusammenzuhalten und dafür das Zink oxydirt. Schönbein's neuestens aufgestellte Hypothese der chemischen Tendenzen ist von dieser Ansicht nicht wesentlich verschieden. (Davy in *Phil. Transact.* 1807 und 1826. Schönbein in Pogg. Ann. 43. 89 und 229. Revision der Lehre vom Galvano-Voltanismus von Pfaff. Altona 1837. Ueber Contact-Electricität von Karsten. Berlin 1836. La Rive in Pogg. Ann. 15. 98; 37. 225; 40. 355 und 515. Gmelin ebend. 44. 1; Fechner ebend. 41. 225; 42. 481; 44, 37.)

417. Der electrische Strom bringt sowohl in einfachen Ketten als in Säulen Effecte hervor, die auf ihn selbst zurückwirken und seine Stärke und Richtung abändern. Es wirkt ein electrischer Strom unmittelbar auf die erregende Kraft ein, und macht den Körper, in welchen der Strom von der Flüssigkeit eintritt, gegen jenen, von welchem er in die Flüssigkeit gelangt, positiv-electrisch. Dieses zeigt folgender Versuch: Man nehme zwei ganz homogene Silberplatten, tauche jede derselben in ein Glas mit Wasser, verbinde sie mit einander außerhalb der Gläser leitend, und bringe in eines der Gläser, dem Silber zur Seite, einen Zinkstreifen, in das andere einen Kupferstreifen und verbinde diese letzteren selbst mit einander zu einem Zinkkupferelemente. Nimmt man nach einigen Minuten die Silberplatten aus der Flüssigkeit, verbindet sie mit einander zu einer einfachen Kette, so erscheint die Platte, welche sich neben dem Kupfer befand, und in welche die

Electricität vom Wasser einströmte, positiv, die andere negativ. Diese Aenderung erleidet ein Körper um so leichter, je öfter man ihn einem electrischen Strome bereits ausgesetzt hat; sie erstreckt sich aber nur auf den in die Flüssigkeit getauchten Theil desselben. Daraus folgt nun, daß in einem in einer Flüssigkeit befindlichen Plattenpaare der Strom immer schwächer werden, und endlich gar in entgegengesetzter Richtung auftreten müsse. Dieses fand Marianini bei einem Elemente aus Graphit und Platin in einem Gemische von 100 Th. Wasser und 1 Th. Schwefelsäure. Da erschien zuerst das Platin negativ, der Graphit positiv; nach öfterem Eintauchen verschwand der Strom ganz, und trat endlich in entgegengesetzter Richtung auf. Die Zeit, innerhalb welcher diese Veränderung vor sich geht, hängt vom feuchten Leiter ab und ist desto kürzer, je besser dieser leitet. Wasser bewirkt nie eine vollkommene Umkehrung des Stromes; Platten, die nicht oxydirbar sind, wie z. B. von Gold und Platin, kehren, wenn sie einige Zeit der Luft ausgesetzt sind, wieder in ihre ursprüngliche electrische Reihe zurück. Aus diesem Verhalten folgt, daß die Kraft eines Electromotors bloß durch die Wirkung des einige Zeit lang Statt findenden electrischen Stromes eine Aenderung erleide. Marianini hat dieses durch eigene Versuche mit Volta'schen Säulen näher erörtert und sich überzeugt, daß der Verlust, den ein solcher Apparat erleidet, gleich nach dem Schließen der Kette am schnellsten erfolge, in der Folge immer langsamer vor sich gehe und endlich eine bestimmte, unüberschreitbare Grenze erreiche. Diese Abnahme erfolgt (nach Fechner) desto schneller, je kürzer der die Kette schließende feste oder flüssige Leiter, je größer die Zahl der Plattenpaare und je kleiner die erregende Oberfläche jedes Paares ist; schneller, wenn die Fläche des positiven Körpers die des negativen übertrifft als umgekehrt. Uebrigens hängt sie auch von der Natur der Platten und der flüssigen Leiter ab und befolgt selbst bei ganz gleich construirten Ketten, deren anfängliche Stärke dieselbe ist, einen verschiedenen Gang. Eine einfache Kette, mit großen, weit von einander abstehenden Platten aus Zink und Zinn, mit stark saurem Wasser, oder noch besser mit Kupfervitriollösung, durch einen langen Polardraht geschlossen, wird ihre Kraft nur sehr langsam verlieren. (Marianini in Zeitsch. 3. 365. 9. 241. Fechner in Schweigg. J. 63; 249.) Der Grund dieses Phänomens scheint darin zu liegen, daß durch den electrischen Strom die Oberfläche der Metalle verändert und so die Action, welche die Electricität-Entwicklung bedingt, modificirt wird. Säulen mit amalgamirten Zinkplatten sind darum auch wirksamer und dauernder, weil die Zinkfläche immer rein bleibt, indem das gebildete Oxyd schnell durch die freie Säure entfernt wird.

418. Zu den wirksamsten Erzeugungsmitteln der E gehört auch die Wärme. Bringt man am Deckel eines guten Condensators einen Platindraht an, dessen über den Deckel hervorragendes Stück spiralförmig zusammengewunden ist, und erhitzt dasselbe zum Rothglühen; so findet man, wenn man die Basis des Condensators mit der Hand,

und die Spirale mit einem feuchten Papiere oder mit einem durch Hitze leitend gemachten Glasstabe berührt, den Condensatordeckel negativ, den Papierstreifen oder den Glasstab positiv-electrisch (Zeitsch. 10. 200). An schlechten Leitern treten durch Erwärmung beide E deutlich hervor. Dieses zeigt sich besonders auffallend am krystallisirten Turmalin. Wird nämlich ein solcher, besonders wenn er im Inneren rein und nicht zerklüftet ist, und zu der hell gefärbten durchsichtigen Varietät gehört, bis 30° C. gleichmäßig erwärmt, so erscheint er an einer Hälfte positiv, an der anderen negativ, und wird dieses immer mehr, je höher seine Temperatur steigt, doch darf sie nicht stationär werden. Sobald sie nicht mehr steigt, verschwindet auch die E; sobald sie abzunehmen beginnt, erscheint der Krystall wohl wieder electrisch, doch hat, wenn die Erkaltung seine ganze Masse trifft, der Theil, welcher vorhin + E zeigte, nun — E. Der Uebergang von einem electrischen Zustande in den entgegengesetzten erfolgt sehr schnell. Die Stärke seiner E ist der Erwärmungs- oder Erkaltungsgeschwindigkeit nicht proportionirt. Ist nur ein Theil eines Turmalins im Erwärmen und Erkalten begriffen, so verhält sich der ganze Krystall so, als bestünde dieser aus zwei Theilen, deren jeder für sich einen eigenen, selbstständigen, electrischen Zustand annimmt, und der des einen Theiles ist jenem des anderen entgegengesetzt. Doch zeigt ein solcher Krystall unter gewissen Umständen nur eine E, ohne daß man wahrnehmen kann, was aus der anderen geworden ist. Zerschneidet man einen Turmalin, während er electrisch ist, so erscheint jedes Stück desselben mit einer positiven und einer negativen Hälfte, und zwar haben die Flächen, welche mit einander verbunden waren, entgegengesetzte E. Man kann einen Turmalin selbst zu Pulver zerstoßen, und doch wird jedes Theilchen Zeichen des zweifachen electrischen Zustandes von sich geben. Es sind aber nicht alle Turmaline der electrischen Erregung durch Wärme in gleichem Grade fähig, in der Regel werden die kleinsten am leichtesten electrisch. Turmaline, welche einer starken Electrisirung fähig sind, werden durch schnelle und durch langsame Erwärmung gleich electrisch. Aehnliche Erscheinungen bemerkt man auch an anderen, selbst an künstlich erzeugten Krystallen, immer aber nur an hemiedrischen, d. i. an solchen, deren Krystallflächen an den zwei einander gegenüberstehenden Enden nicht symmetrisch angeordnet sind. Es sind aber nicht immer zwei electrische Pole wie beim Turmalin, sondern oft mehrere vorhanden. So z. B. hat ein Boracit acht electrische Pole, wenn er auch nur eine Linie im Durchmesser hat. Einen Topaskrystall fand Haüy an beiden Enden negativ, in der Mitte positiv-electrisch; nach Erman (Pogg. Ann. 25. 615) hingegen hat ein brasilianischer erwärmter Topas in der Axe und parallel mit derselben — E, senkrecht darauf + E. Auch ist die zur Electricitätserregung nöthige Temperaturgrenze nicht bei allen gleich. Der Turmalin braucht eine Wärme von 30° C. Galmei ist schon bei der gewöhnlichen Luftwärme electrisch. (Zeitsch. 4. 356. Schweigg. J. 43. 87. Pogg. Ann. 13. 623. G. Rose ebend. 39. 285.)

Krystalle, an denen man durch Temperaturänderung Electricität erregen kann, sind: Turmalin, Topas, Axinit, Boracit, Mesotyp, Prehnit, Zinkoxyd, Sphen, Scolecit, Mesolit, Kalkspath, gelber Beryll, Schwerspath, schwefelsaurer Strontian, kohlensaures Blei, Diopsid, rother und blauer Flußspath, Diamant, Auripigment, Analcim, Amethyst, Quarz aus der Dauphiné, Idokras, Honigstein, natürlicher Schwefel, Granat, Dichroit, weinsteinsaures Kali und Natron, Weinsteinsäure, kleesaures Ammonium, chlorsaures Kali, Bittersalz, schwefelsaures Ammonium, Eisenvitriol, blausaures Kali, Zucker, essigsaures Blei, kohlensaures Kali, Citronensäure, Quecksilbersublimat.

419. Wenn man zwei Metallstücke derselben Natur mit den Enddrähten eines Multiplicators verbindet, dann eines der Metalle erhitzt und hierauf beide in gegenseitige Berührung bringt; so zeigt die Magnetnadel alsogleich einen electrischen Strom an, den man einen thermo-electrischen nennen kann, weil er einzig und allein durch Temperaturdifferenz hervorgerufen wird. Die Stärke dieses Stromes richtet sich nach der Natur der Metalle und ihrer Temperaturdifferenz, in Bezug auf dessen Richtung zerfallen aber die Metalle nach Emmet's und Nobili's Versuchen in zwei Classen, nämlich in solche, wo der positive Strom mit dem Gange der Wärme einerlei Richtung hat, und in andere, wo Wärme und Electricität einander entgegengehen. In die erste Classe gehören: Platin, Gold, Silber, Kupfer, Nickel; in die zweite: Zinn, Blei, Zink, Eisen, Quecksilber, Arsenik, Antimon, Wismuth. Eine etwaige Oxydirung eines Metalles beim Erwärmen bringt eine Störung in diesem Gesetze hervor. (Emmet in Silliman's Journal 25. 271 und 26. 311; in Dove's Repertorium 1. 344.) Es ist nicht einmal nothwendig, die ungleich warmen Metallstücke mit einander in unmittelbare Berührung zu bringen; denn Andrew's (Pogg. Ann. 41. 164) hat derlei electrische Ströme auch erhalten, als er die Metalle von ungleicher Temperatur in einen Tropfen eines geschmolzenen und dadurch leitend gewordenen Salzes (Borax, kohlensaure und schwefelsaure Soda, kohlensaures Kali, Chlorkalium, Jodkalium, Chlorstrontium, borsaure Soda rc) steckte. Anstatt die Metallstücke erst nach dem Erwärmen in Berührung zu bringen, kann man sie auch erst, wenn sie schon einander berühren, erwärmen; ja man kann sogar mit Erfolg an einem großen Metallstücke eine örtliche Erwärmung hervorbringen, und auch in diesem Falle sich vom Daseyn eines electrischen Stromes überzeugen. Wird ein Kupferdraht zu einem Vierecke zusammengebogen, wie Fig. 358 zeigt, und das hervorstehende Ende b erwärmt, so tritt ein electrischer Strom in der Richtung der beigesetzten Pfeile ein, und ist schon ohne Multiplicator bemerklich. Windet man die mit einander verschlungenen Enden eines Multiplicators schraubenförmig zusammen und erhitzt sie dann, so weicht alsogleich die Magnetnadel aus, zum Beweise, daß ein electrischer Strom eingetreten sey. Verbindet man mit jedem Ende eines Multiplicatordrahtes einen getrockneten Thoncylinder, erhitzt einen derselben am äußersten Ende und berührt ihn dann mit dem zweiten;

so zeigt sich alsogleich ein vom warmen zum kalten Cylinder gehender Strom. Versuche über Thermo-Electricität in einem einzigen Metalle gelingen besonders gut mit krystallinischen Metallen, z. B. mit Wismuth, Antimon 2c. An einem Wismuth- oder Antimonringe, der mit einer Flamme an einer Stelle erwärmt worden, fand Seebeck zwei Puncte, deren Erwärmung die stärkste, und zwei andere, deren Erwärmung gar keine E gibt; man muß sie aber an jedem Ringe eigens aufsuchen. Erhitzt man einen Cylinder oder ein Prisma von Wismuth an einer Stelle und stellt sie dann im magnetischen Meridian unter eine empfindliche Magnetnadel, und dreht dabei den Stab um seine Axe; so findet man immer mehrere Stellen, von welchen die Nadel afficirt wird. Diese liegen meistens mit der Axe des Stabes parallel, und je zwei derselben haben eine Stelle zwischen sich, welche gar nicht auf die Nadel wirkt. Yelin hat durch hölzerne Stäbe, in denen nach bestimmten Richtungen längs der Axe leitende Drähte gezogen waren, durch welche ein schwacher electrischer Strom geleitet werden konnte, dieselben Wirkungen erhalten, wie an einem erhitzten Wismuthstabe. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 133, 253. Yelin in Gilb. Ann. 73. 415. Schweigg. J. 37. 21. Nobili in Zeitsch. 4. 350; 10. 200, 221; Sturgeon in Zeitsch. 10. 221.)

420. Sind die mit den Multiplicatorenden verbundenen, ungleich warmen Metallstücke von ungleicher Natur, so entsteht bei ihrer Berührung um so eher ein electrischer Strom. Die Richtung dieses hängt aber nun von der Natur der Metalle und dem Gangunterschiede der Wärme in denselben ab. Es ist klar, daß auch diese Metalle erst, nachdem sie schon mit einander verbunden, bloß zusammengedrückt oder gar zusammengelöthet sind, an der Verbindungsstelle erwärmt werden können. Da ist die Richtung des Stromes bloß von der Natur der Metalle abhängig, weil durch diese auch schon der Gang der Wärme bestimmt wird. Wird die Verbindungsstelle statt erwärmt zu werden erkaltet, so tritt auch der electrische Strom in entgegengesetzter Richtung auf. Man kann die Metalle in eine Reihe (thermo-electrische Reihe) zusammenstellen, in welcher sie so auf einander folgen, daß im Falle der Erhitzung der Verbindungsstelle der positive Strom der E immer vom nachfolgenden zum vorhergehenden geht, und bei derselben Temperaturdifferenz desto stärker ist, je weiter die Metalle in dieser Reihe von einander abstehen. Bei mancher thermo-electrischen Kette ist die Stromstärke innerhalb gewisser ziemlich weit von einander abstehenden Grenzen der Temperaturdifferenz proportional, in anderen kann man auf diese Proportionalität nur innerhalb sehr enger Grenzen oder auch gar nicht rechnen. So z. B. findet bei einer Wismuthkupferkette diese Proportionalität zwischen — 17° C. und + 17° C. Statt, bei einer Eisenplatinkette scheint sie aber gar nicht vorhanden zu seyn. (Pouillet in Pogg. Ann. 39. 567 und 41. 144.) Die Erfahrung hat gelehrt, daß, wenn man die thermo-electrische Kraft des ersten Metalls der genannten Reihe mit allen folgenden bestimmt

hat, die Kraft jeder beliebigen Combination aus dieser Reihe dem Unterschiede der Kräfte in Bezug auf das erste gleich sey.

So z. B. fand man für eine bestimmte Temperaturdifferenz die Kraft einer Kette aus Eisen und Silber = 26.20, aus Eisen und Kupfer = 27.96, aus Eisen und Zinn = 31.24, und aus Eisen und Platin = 36.07, und daher ist die Kraft einer Kette aus Kupfer und Silber = 27.96 — 26.20 = 1.76, aus Platin und Silber = 36.07 — 26.20 = 9.87 ꝛc. Besagte Reihe ist nach Seebeck folgende: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Messing Nr. 1, Gold Nr. 1, Kupfer, Messing Nr. 2, Platin Nr. 2, Quecksilber, Blei, Zinn, Platin Nr. 1, Chrom, Molybdän, Kupfer, Rhodium, Iridium, Gold Nr. 2, Silber, Zink, Kupfer Nr. 3, Wolfram, Platin Nr. 4, Cadmium, Stahl, Eisen, Arsenik, Antimon, Tellur. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 17; Becquerel in Zeitschr. 1. 430.)

421. Man kann die bisher besprochenen thermo-electrischen Ketten als einfache betrachten, und mehrere derselben zu einer zusammengesetzten Säule oder thermo-electrischen Batterie verbinden, indem man die einzelnen Elemente nach der Reihe mit den freien Enden zusammenlöthet, und nur vom ersten und letzten ein Ende frei läßt. Nach Maßgabe des Gebrauches, für welchen derlei Thermosäulen bestimmt sind, werden sie auch verschieden construirt, jedoch immer so, daß man die 1ste, 3te, 5te ꝛc., oder die 2te, 4te, 6te ꝛc. Löthstelle zugleich erwärmen oder erkälten kann. (Nobili in Pogg. Ann. 36. 525; Davy ebend. 44. 592.) Man kann eine solche Thermosäule so empfindlich einrichten, daß man damit eine Temperaturdifferenz von $\frac{1^{\circ}}{6000}$ R. bemerklich machen kann. (Zeitsch. n. F. 1. 187.)

422. Der thermo-electrische Strom gibt sich nicht bloß durch seine Wirkung auf eine Magnetnadel zu erkennen, sondern er kann auch alle übrigen Wirkungen hervorbringen, die man von anderen electrischen Strömen kennt. Man hat bereits durch solche Ströme Froschschenkel in Zuckungen versetzt, Wasser und Salze zerlegt, Funken und selbst Temperaturerhöhungen hervorgebracht. Es unterscheidet sich demnach ein solcher Strom in nichts von einem anderen. Daß er nicht fähig ist, einigermaßen dicke Flüssigkeitsschichten oder lange Leitungsdrähte zu durchströmen, ohne eine an Vernichtung grenzende Schwächung zu erleiden, rührt davon her, daß ein solcher Strom in einer ganz aus Metallen bestehenden, meistens sehr kurzen Kette seinen Ursprung hat, wo er nur einen sehr geringen Leitungswiderstand erfährt, und daher jede Zugabe in der Länge des Schließungsdrahtes oder in der Dicke der flüssigen Schichte die wahre Länge der ganzen Säule sehr stark steigert, und einen relativ großen Widerstand erzeugt.

Nobili hat zuerst mittelst eines thermo-electr. Stromes Zuckungen an Froschschenkeln hervorgebracht, Botto in Turin gelang es mittelst einer Platineisensäule von 120 Elementen von 1 Z. Länge und 1/4 Z. Dicke, gesäuertes Wasser zu zersetzen; Becquerel zerlegte gar mit

einem einzigen Elemente aus Platin und Kupfer Metallsalze, wenn er den Pol des Elementes mit jenem Metall bekleidete, dessen Oxyd dem Salze zur Basis diente; Antinori brachte mit einer Säule aus 25 Antimon-Wismuthelementen einen glänzenden Funken hervor, wenn er die Kette durch einen spiralförmigen, langen, um einen weichen Eisenstab gewundenen Draht schloß; Watkins endlich erzielte dasselbe mit einer einfachen Antimon-Wismuthkette, die er durch einen zusammengerollten Kupferstreifen schloß. Derselbe hat auch mit einer massiven Thermosäule von 18 Wismuth-Antimonelementen von 4 Zoll Länge an einem Becquerel'schen - oder Luftthermometer bemerkliche Temperaturerhöhung erzeugt. (Nobili in Pogg. Ann. 14. 161; Botto ebend. 28. 238; Wheatstone ebend. 41. 160; Watkins in *Phil. Mag.* 11. 399 und 304, 14. 32.)

423. Die Kenntniß der thermo-electrischen Ströme ist in theoretischer und practischer Hinsicht gleich wichtig. Man kann, auf diese Kenntniß gestützt, überall, wo in guten geschlossenen Leitern Temperaturunterschiede Statt finden, mit Grund das Daseyn electrischer Ströme annehmen. Namentlich gilt dieses vom Inneren der Erde, deren Ströme wahrscheinlich die Kraft des Erdmagnetismus bedingen, und durch die stets wandelbare und immer nur auf einen Theil der Erde wirkende Kraft der Sonne hervorgebracht werden müssen. In einigen Erzgängen hat man das Daseyn solcher Ströme wirklich schon nachgewiesen. (Zeitsch. 10. 118.) In practischer Beziehung gibt uns die Thermo-Electricität ein treffliches Mittel an die Hand, electr. Ströme von constanter Stärke zu gewinnen, indem man, um einen solchen zu erzeugen, nur die Temperaturdifferenz einer Kette unveränderlich zu erhalten braucht. Dieselbe bietet uns auch treffliche Mittel dar, sowohl sehr hohe als sehr niedere Temperaturen, besonders aber sehr kleine Temperaturdifferenzen zu messen. In der That hat Melloni nur durch den Gebrauch einer empfindlichen Thermosäule seine großen Entdeckungen im Gebiete der strahlenden Wärme machen können. Peltier war nur dadurch im Stande, die Wärmeänderungen in einem von E durchströmten Polardrahte so bestimmt zu erkennen, und Becquerel und Brechet konnten durch dieses Mittel Aenderungen in der Temperatur der Pflanzen erkennen.

424. Es ist kein Zweifel, daß in einem lebenden Körper durch den Lebensproceß beständig E erregt werde, und große Physiologen haben die E als beständigen Begleiter der Lebensthätigkeit angesehen. Die Haare von Katzen, Pferden ꝛc., ja selbst von jungen Personen sind oft ohne äußere Veranlassung so stark electrisch, daß sie sträubend in die Höhe steigen; Pflanzen sah man zur Zeit des intensivsten Lebens Funken geben, ja Pouillet hat sogar die durch die Vegetation entwickelte E durch mehrere directe Versuche bestimmt. Einige Fische, wie z. B. der Zitteraal (gymnotus electricus), der Zitterrochen (raja torpedo), der Zitterwels (silurus electricus), der Stachelbauch (tetrodon elect.), der Spitzschwanz (trichiurus elect.) können gleich einer geladenen Leidnerflasche Schläge ertheilen, wozu sie ein eigenes, einer Volta'schen Säule ähnliches Organ besitzen. J.

Davy hat die Identität der E des Zitteraals mit der Reibungs- und Berührungselectricität factisch nachgewiesen, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadel ablenkte und chemische Wirkungen hervorbrachte. In der neuesten Zeit hat man diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, und Linari hat sogar durch Anwendung langer spiralförmiger oder selbst kurzer aber zusammengewundener Drähte Funken zu gewinnen gewußt, und mittelst eines empfindlichen Condensators Zeichen einer electrischen Spannung erhalten. Faraday hat alle diese Wirkungen bestätiget gefunden, und überdieß noch durch diese E Drähte erhitzt. Der Strom, den ein Zitteraal liefert, geht seinen Erfahrungen zu Folge, immer vom Vordertheil des Thieres zum Hintertheil. (Davy in *London and Edinb. Journ. I.*; Humboldt in Pogg. Ann. 37. 239; Colladon ebend. 39. 411; Mateucci ebend. 39. 485; Faraday in *Phil. Mag.* 14. 211.)

425. Es sind nun alle Electricitätsquellen untersucht, und die Gesetze, nach denen sie sich wirksam zeigen, näher erörtert worden. Schon ein oberflächlicher Ueberblick zeigt, daß Reibung, Berührung, Induction, Wärme und der Lebensproceß die Hauptquellen seyen, daß man es daher im Allgemeinen mit der Reibungs- oder gemeinen, mit der Volta'schen-, der thierischen, der Magneto- und der Thermo-Electricität zu thun habe. Alle diese befolgen aber dieselben Gesetze, zum Beweise, daß alle von derselben inneren Natur seyen. Insbesondere hat man von allen diesen physiologische Wirkungen, Ablenkung der Magnetnadel, Magnetisirung, Funken, Temperaturerhöhung und wahre electr. chemische Wirkungen erfahren. Anziehung und Abstoßung sind zwar bei der Thermo-Electricität noch nicht angetroffen worden, allein dazu gehört eine electrische Spannung, die bei einem so ungehinderten Strome, wie ihn ungleichförmig erwärmte Metalle liefern, nicht wohl vorkommen kann, und somit darf diese kleine Lücke keinen Grund abgeben, die Thermo-Electricität von der durch die übrigen Quellen gelieferten zu sondern, und sie als besonderes Agens zu betrachten. Dabei ist aber die Existenz verschiedener electrischen Ströme, analog den verschieden transmissionsfähigen Wärme- und den verschiedenfarbigen Lichtstrahlen, nichts weniger als unwahrscheinlich.

Interessant wäre es, die zu den verschiedenen Wirkungen electrischer Ströme nöthigen relativen Intensitäts- und Quantitätsgrößen zu kennen, allein zu diesem Ende ist bis jetzt nur sehr wenig geschehen. Pouillet fand, daß die Intensität des Stromes einer Volta'schen Säule von 12 Plattenpaaren aus Zink und Kupfer 113924mal so groß ist, als die eines Wismuthkupferelementes, das durch eine Temperaturdifferenz von 1° angeregt wird, und durch einen 21 Meter langen Bogen 1 M. dicken Kupferdrahtes geht. Nach Poggendorff hielt der Strom einer magnetischen Rotationsmaschine bei acht Umläufen des Ankers in der Secunde drei Zinkkupferplatten einer Volta'schen Säule das Gleichgewicht. Nach Faraday braucht man zur Zersetzung von 1 Gran Wasser so viel Electricität, daß man damit einen Platindraht von $^1/_{104}$ Z. Dicke in der Luft durch $3^3/_4$ M. roth glühend

erhalten, oder daß man mit derselben eine Batterie laden könnte, die 800,000mal größer ist, als eine solche, die man durch 80 Umdrehungen einer sehr kräftigen Scheibenmaschine zu entwickeln vermag, und die demnach das größte Thier zu tödten im Stande wäre.

426. Es sind nun die Gesetze der Electricität so vollständig, als es dem Zwecke dieses Werkes angemessen ist, erörtert worden. Schon eine oberflächliche Uebersicht läßt den innigen Zusammenhang zwischen Electricität und Magnetismus nicht verkennen, und die Ampère-sche Ansicht, daß der Magnetismus überhaupt das Resultat electrischer Ströme sey, die um die kleinsten Körpertheile circuliren, als sehr wahrscheinliche Hypothese gelten. Gegen die Möglichkeit solcher Ströme in so guten Leitern, wie Magnete sind, kann man nichts einwenden, seitdem man an ungleich erwärmten Metallen solche Ströme factisch nachgewiesen hat, und auch weiß, daß selbst das sogenannte Gleichgewicht der Wärme nur in einer Gleichheit des Ab- und Zuflusses der Wärme bestehe, ein eigentlicher statischer Zustand der Wärme aber gar nicht existire. Ueber das Wesen eines electrischen Stromes selbst kann man nicht mehr mit Sicherheit behaupten, als daß er von einer Bewegung begleitet sey, wobei das Bewegliche die Lage des Gleichgewichtes nur wenig verläßt, und überhaupt als das Resultat der Molecularkräfte der Körper betrachtet werden könne. Die Annahme eines electrischen Fluidums eigener Natur ist nur ein Mittel, den Verlauf der electrischen Erscheinungen unserem Vorstellungsvermögen etwas näher zu bringen, und dürfte wohl außer diesem keinen objectiven Grund für sich haben. Die Phänomene des electrischen Stromes überhaupt, seines Durchganges durch verschiedene Körper, und der nicht mehr zweifelhafte Widerstand, den er beim Uebergange von einem Mittel in ein anderes erfährt, sind der Annahme, daß auch der Electricität Schwingungen des Aethers oder der kleinsten Körpertheile zum Grunde liegen, gar nicht ungünstig; eine Annahme, die ganz gewiß auch noch das für sich hat, daß sie die vier großen Mächte der physischen Welt, Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität auf eine gemeinschaftliche Quelle zurückführt. Ueber diesen Abschnitt siehe nebst den schon angeführten Werken: Franklin's Briefe von der Electricität. Leipzig 1758. Versuche über die Electricität von Adams. Wien 1786. L. Mahon's Grundsätze der Electricität. Leipzig 1789. Dondorf's Lehre von der Electricität. Erfurt 1784. Practische Electricitätslehre von Langenbucher. Augsburg 1788. Elemente der Electricität und Electrochemie von Singer. Breslau 1819. Grundzüge der reinen Electricitätslehre von Leschan. Wien 1826. A. Galvani's Abhandlung über die Kraft der thierischen Electricität. Prag 1793. Volta's Schriften über die thierische Electricität. Prag 1793 und 1796. Volta's neueste Versuche über den Galvanismus. Wien 1803. A. Humboldt, über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. Berlin 1797—99. Der Proceß der galvanischen Kette von G. F. Pohl. Leipzig 1826. Die galvanische Kette,

mathematisch bearbeitet von Ohm. Berlin 1827. *Saggio di esperienze eletro-metriche del D. St. Marianini. Venezia 1822.* Maßbestimmungen über die galvanische Kette von G. Th. Fechner. Leipzig 1831. *Memorie ed osservationi dal cav. L. Nobili. Firenze.* 1834. *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme etc. par M. Becquerel. Paris* 1834 — 1837.

Naturlehre.

Dritter Theil.

Naturerscheinungen im Großen.

Einleitung.

1. So wie man durch Vergleichung der Naturerscheinungen zur Kenntniß der Naturgesetze geleitet wird, und also jene vorzugsweise zur Entdeckung dieser gebraucht werden; eben so kann man auch die einmal klar erkannten Naturgesetze wieder benützen, um daraus Naturerscheinungen zu erklären. Vorzüglich interessant ist dieses, wenn man die bereits bewiesenen Gesetze der Sinnenwelt auf die Erscheinungen anwendet, welche im Großen auf unserer Erde, in der Atmosphäre und an den Himmelskörpern wahrgenommen werden. Diese Erscheinungen, auf ihre letzten Gründe zurückgeführt, machen den Gegenstand der angewandten Naturlehre aus, die hiernach in die physische Geographie, Meteorologie und Astronomie zerfällt, wovon es die erste mit der Beschaffenheit und den Veränderungen der Erde, die zweite mit den Erscheinungen in der Atmosphäre, und letztere mit den Phänomenen an Himmelskörpern und ihrer Erklärung zu thun hat.

2. Die Fortschritte, welche man bis jetzt in diesen sehr wichtigen Zweigen des menschlichen Wissens gemacht hat, sind sehr ungleich. Die Astronomie hat sich auf den Flügeln der mathematischen Analyse zu einer solchen Höhe und Vollkommenheit erhoben, daß ein vollständiger Unterricht hierin allein einen Lehrcurs von mehreren Jahren ausfüllen könnte, aber Zuhörer erfordert, die mit allen Kunstgriffen der Mathematik ausgerüstet sind; die physische Geographie und Meteorologie liegen hingegen fast noch in der Wiege, und erwarten erst von der reinen Naturlehre Wachsthum und Gedeihen.

Erster Abschnitt.

Physische Astronomie.

Erstes Kapitel.

Himmelskörper überhaupt.

3. Dem unbefangenen Beobachter erscheint die Erde im sogenannten platten Lande als eine horizontale Ebene, und der Himmel als ein Gewölbe, das auf der Erde aufliegt, und an welchem sich die Sonne, der Mond und das unzählige Heer der Sterne befinden. Alle diese Himmelskörper scheinen von uns gleich weit entfernt zu seyn, weil uns alle Mittel, durch welche wir die Entfernungen irdischer Gegenstände nach bloßem Augenmaße zu beurtheilen pflegen, verlassen, und wir daher keinen Grund zu haben glauben, einen näher als den anderen anzunehmen. Darum nennt man jene hohle Kugel, in der wir uns zu befinden glauben, die Himmelskugel oder Himmelssphäre.

4. Wer bloß nach sinnlichem Scheine urtheilt, könnte verleitet werden, zu meinen, die Hälfte des Firmaments werde von der Sonne, die andere Hälfte von den Sternen eingenommen, weil das freie Auge nach Sonnenaufgang gewöhnlich keinen Stern sieht. Allein schon die sehr gemeine Erfahrung, daß die Flamme einer brennenden Kerze in einem von der Sonne stark beschienenen Orte gar nicht gesehen wird, kann auf die Vermuthung führen, daß wir bei Tage die Sterne bloß wegen des unzählige Male stärkeren Sonnenlichtes nicht sehen; darin wird man noch mehr durch den Umstand bestärkt, daß am Morgen kurz vor Sonnenaufgang noch der ganze Himmel mit Sternen übersäet ist, wovon nach Sonnenaufgang kaum einer mit freiem Auge bemerkt wird. Zur vollen Gewißheit ist diese Wahrheit dadurch gebracht, daß man mittelst eines guten Fernrohrs selbst bei hellem Tage Sterne sehen kann.

5. Die Erscheinungen, welche wir täglich an Sonne und Mond bemerken, nämlich, daß sie an einer Himmelsgegend, die man Aufgangsgegend, Orient, Ost nennt, auf- und an der entgegengesetzten, welche Abend, Untergang, Occident, West heißt, untergehen, bieten sich uns auch an den Sternen dar, bis auf einige wenige, die nur eine scheinbare Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze machen, so daß die Bewegung von Ost nach West dem ganzen Himmel gemein ist. Sie heißt tägliche Bewegung, weil ein Tag von einem Auf- oder Untergange bis zum nächst folgenden verfließt.

6. Unter den Sternen gibt es einige, die immer an demselben Punkte des Horizontes auf- und untergehen, und beständig dieselbe Lage gegen einander beibehalten, so daß man erst nach einer Reihe von Jahren eine kleine Aenderung ihrer relativen Lage bemerkt. Diese heißen Fixsterne (stellae fixae); sie machen bei weitem den größten Theil der sichtbaren Himmelskörper aus. Andere hingegen gehen fast täglich an einem anderen Punkte der Ostgegend auf, beschreiben bald größere, bald kleinere Bögen, und ändern ihre Lage gegen einander und gegen die Fixsterne. Diese heißen Irrsterne, Planeten (planetae). Von beiden verschieden sind die Kometen (cometae), welche meistens einen lichten Schweif oder Ring um sich haben. Die Sonne bietet in Betreff ihrer Bewegung Erscheinungen dar, welche mit den an Planeten beobachteten völlig übereinstimmen; die Folge wird aber lehren, daß sie doch nicht zu den Planeten zu zählen ist, weil diese Uebereinstimmung nur scheinbar ist.

7. Man kennt jetzt 11 Planeten: Merkur ☿, Venus ♀, die Erde ♁, Mars ♂, Ceres ⚳, Pallas ⚴, Juno ⚵, Vesta ⚶, Jupiter ♃, Saturn ♄ und Uranus ♅, nebst 18 Nebenplaneten oder Begleitern der Hauptplaneten, wovon die Erde einen, Jupiter vier, Saturn sieben und Uranus sechs hat. Der vorletzte Planet ist überdieß noch mit einem Ringe umgeben, der nach Einigen aus zwei, nach Anderen aus mehreren concentrischen Theilen besteht. Uranus ward 1781 von Herschel, Ceres 1801 von Piazzi, Pallas 1802 von Olbers, Juno 1804 von Harding, Vesta 1807 von Olbers entdeckt, die übrigen waren schon den Alten bekannt. — Es ist aus dem Vorhergehenden klar, daß die Planeten nebst der dem ganzen Himmel gemeinschaftlichen täglichen Bewegung auch noch eine eigene haben müssen. Man nennt sie ihre jährliche Bewegung. Sie sind der Erde ohne Vergleich näher als die Fixsterne, und erscheinen im Gesichtsfelde guter Fernröhre als vollkommene Scheiben; an den meisten bemerkt man sogar Flecken, die ihre Lage gegen den Rand der Scheibe verändern, und darum auf eine Axendrehung schließen lassen.

Zweites Kapitel.

Tägliche Bewegung der Himmelssphäre.

8. Da es bei der Beurtheilung einer Bewegung vor Allem auf den Standpunkt ankommt, von dem man sie beobachtet; so muß zuerst der Ort der Erde in der Himmelssphäre näher bestimmt werden. Zu diesem Behufe lehrt die Erfahrung, daß der Abstand zweier fixen Punkte an der Himmelssphäre, z. B. zweier Fixsterne, von einander von derselben Größe erscheint, diese Punkte mögen gerade auf- oder untergehen, oder sich in was immer für einer Lage zwischen dem Auf- und Untergange befinden, und deutet hierdurch an, daß der Punkt, für welchen dieses Statt findet, als Mittelpunkt der Himmelssphäre an-

gesehen werden könne. Da dieses von jedem Orte auf der ganzen Erdoberfläche gilt, und zwei Firsterne überall einen gleichen Abstand von einander zu haben scheinen; so muß auch jeder Punkt der Erde als Mittelpunkt der Himmelssphäre angesehen werden können, d. h. die Größe der Erde muß gegen die Größe der Himmelssphäre verschwinden.

9. Jeder Punkt der Himmelssphäre beschreibt, vermög der täglichen Bewegung innerhalb eines Tages, einen ganzen Kreis. Ist die Lage dieses Kreises bestimmt und zugleich bekannt, in welchem Punkte derselben sich ein Stern befindet, den man als firen Punkt der Himmelssphäre betrachten kann, wie dieses mit den Firsternen der Fall ist; so ist die tägliche Bewegung dieses Sternes gegeben. Zu diesem Behufe muß man, im Einklange mit dem gewöhnlichen Verfahren der Geometrie, jeden Punkt des Himmels auf so viele Coordinaten beziehen, als zur völligen Bestimmung der Lage des Punktes erforderlich sind. Weil hier alle Punkte gleichsam an der Himmelssphäre erscheinen, mithin diese selbst schon eine Coordinate ersetzt, so bedarf man nur noch zweier Ebenen, oder weil diese die Himmelssphäre in Kreisen schneiden, zweier Kreise. Diese Ebenen oder Kreise wird man am besten durch die tägliche Bewegung selbst bestimmen.

10. Stellt sich der Beobachter so, daß seine rechte Seite nach Ost, seine linke nach West gerichtet ist; so sieht er nach derjenigen Gegend hin, welche Mitternacht, Nord genannt wird, und kehrt den Rücken der Mittagsgegend, Süd, zu. Betrachtet man die Sterne in der nördlichen Himmelsgegend, so bemerkt man, daß einige nie untergehen, sondern innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis über dem Horizonte beschreiben. Dieser Kreis ist desto größer, je näher der Stern bei seiner tiefsten Stellung dem Gesichtskreise kommt. Man nennt solche Sterne Circumpolarsterne. Hieraus kann man wohl schließen, daß auch die andern Sterne, welche auf- und untergehen, einen ganzen Kreis beschreiben, und daß ein Theil desselben nicht für uns sichtbar sey, weil er unter dem Horizonte liegt; alles dieses wird erst zur vollen Gewißheit, wenn man beobachtet, daß Sterne, die nur kurze Zeit unsichtbar sind und unter dem Horizonte verweilen, zu vollkommenen Circumpolarsternen werden, wenn man sich näher nach Norden begibt, während andere, die nach Süden zu liegen und in unseren Gegenden nur kurze Zeit über dem Horizonte verweilen, ganz unsichtbar werden. Reiset man in südlichere Länder, so erfährt man das Gegentheil; da verschwinden nämlich nördlich liegende Sterne ganz, und südlich liegende, uns ganz unsichtbare, werden sichtbar; ja in Südamerika und in vielen anderen südlichen Gegenden gibt es Circumpolarsterne, die bei uns gar nie aufgehen.

11. Weil die Firsterne immer in derselben Lage gegen einander bleiben, so müssen sie bei der täglichen Bewegung Kreise beschreiben, deren Ebenen mit einander parallel sind, und deßhalb Parallelkreise heißen. Die ganze Bewegung geschieht um eine gemeinschaftliche Linie, welche die Weltaxe (Himmelsaxe) heißt, und in unseren Gegenden gegen den Horizont geneigt erscheint. Die Punkte

der Himmelssphäre, welche die Axe trifft, heißen die Pole, und zwar der gegen Norden liegende, der Nordpol, der andere der Südpol. Bei uns liegt nur der Nordpol über dem Horizonte, und zwar, wie natürlich, in der Nähe desjenigen Sternes, der den kleinsten Parallelkreis beschreibt, und deßhalb auch Polarstern genannt wird. Der größte Parallelkreis heißt Aequator, der Punkt am Himmel, den die durch den Scheitel eines Beobachters gehende, verticale Linie trifft, heißt Zenith, der ihm gerade entgegengesetzte, Nadir. Eine durch das Zenith und die Pole gehende Ebene heißt Mittagsebene. Sie theilt den Bogen, den die Sterne über dem Horizonte beschreiben, in zwei gleiche Theile, und in ihr haben sie den größten und kleinsten Abstand vom Horizont, d. i. die größte und kleinste Höhe. Ist ein Gestirn im Meridiane, so sagt man, es culminire. Der Durchschnittspunkt des Horizontes und der Mittagsebene gegen Süden heißt der Südpunkt. Sonst heißt jeder größte Kreis, welcher durch die beiden Pole geht, ein Abweichungskreis. Eine Ebene, welche durch den Mittelpunkt der Himmelssphäre geht, und mit dem Aequator einen Winkel von $23^1/_2°$ einschließt, heißt Ecliptik, und ein auf der Ecliptik senkrechter und durch einen Pol derselben gehender Kreis wird Breitenkreis genannt. Die Ecliptik sowohl als die Aequatorialebene schneiden die Himmelssphäre in größten Kreisen, und diese beiden Kreise schneiden sich selbst wieder in zwei Punkten. Einer davon heißt Frühlingsnachtgleichepunkt, der andere Herbstnachtgleichepunkt. Der durch den Frühlingsnachtgleichepunkt gehende Abweichungskreis wird als der erste Abweichungskreis angesehen. Eine auf dem Horizonte senkrechte Ebene heißt Verticalebene. Sie sowohl als der Horizont schneiden die Himmelssphäre in größten Kreisen. Der Horizontalkreis führt den Namen Azimuthalkreis.

Stellt (Fig. 359) C den Ort eines Beobachters vor, CZ die durch C gehende Verticale, Z sein Zenith, Hh den Horizont, P den Nordpol, p den Südpol, Pp die Weltaxe, Aa eine durch C gehende, auf Pp senkrechte Ebene; so ist Aa die Ebene des Aequators, PapA die des Meridians, und die mit Aa parallelen Kreise Bb, Dd, Ee, Ff, Gg, Kk, Ll, Parallelkreise, wovon Ff und Ee ganz über dem Horizonte liegen, während andere solche Kreise vom Horizonte geschnitten werden, so daß ein Theil über, der andere unter dem Horizonte liegt. Erstere Theile heißen Tagbögen, letztere Nachtbögen. Mm ist die Ecliptik, V der Frühlingsnachtgleichepunkt, PN ein Stück eines Breitenkreises, HPh ist zugleich ein Verticalkreis. Mehrere dieser Kreise, wohl auch alle kann man an einer Ringkugel oder an einer künstlichen Himmelskugel vorstellen.

12. Zur Bestimmung eines Punktes am Himmel dienen mehrere der genannten Ebenen und Kreise, und zwar: 1) Ein Abweichungskreis und der Aequator. 2) Ein Verticalkreis und der Horizont (Azimuthalkreis). 3) Ein Breitenkreis und die Ecliptik. Bevor man zur Bestimmung einzelner Punkte schreitet, müssen aber diese Ebenen und Kreise selbst bestimmt seyn.

13. Den genauesten Beobachtungen gemäß ist die tägliche Bewegung eine gleichförmige; daher müssen die zwei Theile eines Parallelkreises, welche zu beiden Seiten des ihn schneidenden Meridians liegen, in gleichen Zeiten zurückgelegt werden. Stellt man daher ein Fernrohr, welches sich um eine horizontale Axe drehen kann, so, daß ein in der Axe des Rohres vertical gespannter, sehr feiner Faden in einer Ebene liegt, welche die Bahn eines Circumpolarsternes in zwei Theile theilt, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden; so bewegt sich dieses Fernrohr im Meridiane und dieser ist daher seiner Lage nach bekannt, wenn man es dahin gebracht hat, ein Fernrohr so zu stellen. Ein Fernrohr, wie das genannte, heißt ein Mittagsrohr oder Passageinstrument, und spielt in der practischen Astronomie eine große Rolle. Im Gesichtsfelde dieses Fernrohres sind mehrere sehr feine Fäden von Spinnen oder von Platin ausgespannt, wovon einer horizontal steht, während die übrigen eine verticale Lage haben. Einer von diesen befindet sich genau in der Ebene des Meridians, die anderen sind in gleichen Abständen von diesem zu beiden Seiten angebracht. Mittelst eines eingetheilten Kreisbogens kann man auch den Winkel bestimmen, den die Axe des Rohrs mit dem Horizonte macht. In der Mittagsebene liegt natürlich die Weltaxe, und ist daher in ihr durch den Winkel gegeben, den sie mit dem Horizonte macht, und den man Polhöhe nennt. Er ist gleich der halben Summe aus der größten und kleinsten Höhe eines Circumpolarsternes. In Fig. 359 ist PCh die Polhöhe und wird durch den Meridianbogen Ph gemessen, ferner Fh die größte, fh die kleinste Höhe eines dem Pole P nahen Sternes. Aber $Pf = \frac{Ff}{2}$, und daher $Ph = Pf + fh = \frac{Ff}{2} + fh = \frac{Ff + 2fh}{2} = \frac{Fh + fh}{2}$. Ist einmal die Polhöhe bekannt, so braucht man zur Bestimmung der Lage des Aequators nur den Winkel zu kennen, den dieser mit dem Horizonte macht. Er heißt die Aequatorshöhe, und ist das Complement der Polhöhe. In Fig. 359 stellt ACH diesen Winkel vor, für welchen man hat: $ACH = hCa = PCa - PCh = 90° - PCh$. Es ist demnach der Aequator und daher auch jeder darauf senkrechte Kreis durch das Vorausgegangene bestimmt. Die Bestimmung einer horizontalen und einer verticalen Ebene ist für sich klar, und von der Bestimmung der Ecliptik wird in der Folge die Rede seyn.

14. Ein Punkt am Himmel ist bestimmt, wenn man seinen Abstand von zwei der vorhergehenden zusammengehörigen Ebenen (Kreisen) kennt. Es ist aber dieser Abstand nicht als gerade Linie, sondern als Kreisbogen zu verstehen. Weil nun von den zwei Kreisen, durch die man nach dem Vorhergehenden einen Punkt bestimmen kann, einer auf dem anderen senkrecht steht; so wird stets der Abstand eines Punktes von einem dieser Kreise durch einen Bogen des anderen gemessen werden. Der Abstand eines Punktes vom Aequator heißt seine Abweichung, der Abstand vom ersten Abweichungskreise seine gerade

Aufsteigung. Die Abweichung ist nördlich oder südlich, je nachdem sich der fragliche Punkt in der nördlichen oder südlichen Halbkugel befindet. Der Abstand eines Punktes vom Horizonte heißt dessen Höhe, der Abstand vom Höhenkreise, welcher durch den Südpunkt geht, sein Azimuth. Der Abstand von der Ecliptik heißt die Breite, der Abstand vom Breitenkreise, der durch den Frühlingsnachtgleichepunkt geht, seine Länge. Man kann jede dieser Größen durch Beobachtung finden, aber auch aus zwei zusammengehörigen, z. B. aus der Höhe und dem Azimuth zwei andere, z. B. Länge und Breite berechnen. Am gewöhnlichsten werden Höhe und Azimuth, und Abweichung und gerade Aufsteigung durch Beobachtung ausgemittelt.

15. Die Abweichung findet man, wenn man die Mittagshöhe des fraglichen Punktes beobachtet, und davon die Aequatorshöhe abzieht. Ist z. B. B (Fig. 359) dieser Punkt, so ist HB seine Mittagshöhe, HA die Aequatorshöhe und BH — AH = BH seine Abweichung. Um die gerade Aufsteigung x zu bestimmen, wird die Zeit t beobachtet, welche zwischen den Culminationen des Punktes, um den es sich handelt, und des Frühlingsnachtgleichepunktes vergeht, und dann so geschlossen: Da in 24 Stunden 360° des Aequators durch den Meridian des Beobachtungsortes gehen; so müssen in der Zeit t durch denselben x° gehen, und man hat $x = 15t$.

16. Höhe und Azimuth erfährt man am bequemsten mittelst eines Theodolithes. Dieser besteht aus zwei concentrischen, horizontalen Kreisen, wovon der innere auf zwei verticalen, gleich hohen Stützen ein kleines Mittagsrohr und einen verticalen Kreis trägt. Stellt man dieses Instrument so, daß der Nullpunkt des horizontalen Kreises in den Meridian und zwar gegen Süden fällt, und der Nullpunkt des verticalen mit der horizontalen Axe des Fernrohrs in einerlei Höhe liegt; so schneidet bei jeder anderen Lage des Fernrohrs der Index am horizontalen Kreise das Azimuth, der am verticalen die Höhe jenes Punktes ab, den man in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohrs sieht.

Drittes Kapitel.

Gestalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung.

17. Es gibt viele Erscheinungen, die sich nicht anders erklären lassen, als wenn man annimmt, daß die Erde nach allen Seiten convex sey. Die vorzüglichsten dieser Erscheinungen sind folgende: Wenn man von West nach Ost reiset, so bemerkt man, daß die Sonne immer desto früher aufgeht, je weiter man kommt; ja auf einer solchen fortgesetzten Reise kommt man wieder an den Ort, von wo man ausging, zurück, ohne irgendwo umgekehrt zu seyn. Begibt man sich von Süden weiter nach Norden, so erhebt sich der Nordpol im Verhältnisse zur Größe des zurückgelegten Weges, es werden immer mehrere

Sterne Circumpolarsterne, während am südlichen Himmel immer mehrere unter den Horizont zu stehen kommen und gar nicht mehr aufgehen. Vorzüglich gehört hierher die Art, wie sich entfernte Gegenstände zur See oder in großen Ebenen zeigen, wenn man sich ihnen nähert, und wenn man sich von ihnen entfernt. So z. B. erblickt man an einem fernen Schiffe, dem man sich nähert, zuerst nur den obersten Theil des Mastbaumes, und wenn sich ein Schiff entfernt, so verliert sich zuerst der unterste Theil aus dem Gesichtskreise. — Was es für eine Krümmung sey, die der Erde zukommt, ist durch alle diese Gründe noch nicht ausgemacht. Wie sie aber immer beschaffen seyn mag, so ist doch so viel gewiß, daß die Erde einer Kugel sehr nahe kommt, weil ihr Schatten bei Mondesfinsternissen immer kreisrund erscheint. Berge und Erhabenheiten, die sich auf ihrer Oberfläche befinden, können dieses nicht umstoßen, weil sie gegen die Größe der Erde ganz verschwinden, so, daß die höchste Gebirgskette der Erde ihr die Kugelform so wenig benimmt, als feiner Staub einem Globus von mehreren Schuhen im Durchmesser.

18. Die Erscheinungen der täglichen Bewegung lassen sich auf eine zweifache Art erklären. Entweder bewegen sich wirklich alle Fixsterne in 24 St. von Ost nach West um die Erde, oder es dreht sich die Erde in derselben Zeit von West nach Ost um ihre Axe. Der Sinn des Gesichtes kann hierin eben so wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er einen den Fluß abwärts Schiffenden belehren kann, ob das Schiff abwärts oder die am Ufer befindlichen Gegenstände aufwärts gehen. Es müssen daher andere Gründe für die Wirklichkeit einer oder der anderen Bewegung sprechen.

19. Schon der Umstand, daß die Umwälzung eines einzigen, verhältnißmäßig sehr kleinen Körpers die Erscheinungen eben so hervorbringt, wie die Bewegung von Millionen unendlichmal größerer Massen, muß die Axendrehung der Erde wahrscheinlich machen; aber noch mehr muß diese Wahrscheinlichkeit ans Licht treten, wenn man zugleich die Entfernung dieser Körper in Betrachtung zieht. Es ist gewiß, daß der nächste Fixstern wenigstens eine Entfernung von 23000 Millionen Erdhalbmessern hat. Geht er in 24 St. um die Erde, so muß er einen mehr als sechsmal größeren Kreis beschreiben, und daher eine Geschwindigkeit haben, welche die des Lichtes 6000mal übertrifft. Nimmt man eine Axendrehung der Erde an, so darf jeder Punkt des Aequators nur 5400 geogr. Meilen in 24 Stunden zurücklegen, wozu eine Geschwindigkeit hinreicht, die nur wenig größer als jene des Schalles ist. Zu diesem kommt noch, daß die Planeten auch eine Axendrehung haben, daß diese sogar bei der Sonne nicht fehlt. Warum soll gerade die Erde von diesem Gesetze ausgenommen seyn?

20. Die Wahrscheinlichkeit der Umdrehung der Erde wird durch die Betrachtung mechanischer Gründe zur völligen Gewißheit erhoben. Die kreisförmige Bewegung der Himmelskörper um die Erde könnte nur durch Centralkräfte hervorgebracht werden, deren Mittelpunkt in der Erde liegen müßte. Was sollte aber das für eine Kraft

in der Erde seyn, die sich so weit erstreckte, und im Stande wäre, die ungeheuren Massen mit so großer Geschwindigkeit herumzutreiben? wie ließe es sich erklären, daß durch diese Kraft alle Körper, deren Entfernung von der Erde gewiß sehr verschieden ist, in derselben Zeit um sie herumgeführt würden, so daß ihre wahre Geschwindigkeit im Verhältnisse mit der Entfernung wüchse, während alle anderen Kräfte desto schwächer werden, je weiter sich ihre Wirksamkeit erstreckt? wie wäre es möglich, daß gerade die Körper, welche im Aequator stehen, so große Kreise beschreiben, und daß die Kreise gegen die Pole zu immer kleiner werden?

21. Wird die Bewegung der Erde als wirklich angenommen, so muß sie sich auch auf die Atmosphäre erstrecken. Ihre oberen Theile müssen sich schneller bewegen, als die unteren, und daher bewirken, daß ein frei fallender Körper etwas gegen Osten von der verticalen Linie abweicht. Auch davon überzeugt man sich durch die Erfahrung, wie vorzüglich Reich's neueste Versuche beweisen. Aus allem diesen sieht man, daß man für die Axendrehung der Erde so viele Beweise hat, daß nur jene noch daran zweifeln können, die überhaupt nicht zu überzeugen sind.

22. Diesen Gründen gemäß beschreibt jeder Punkt der Erde einen Kreis, und nur zwei in einer durch den Mittelpunkt der Erde gehenden, geraden Linie liegende Punkte sind von dieser Bewegung ausgenommen. Diese Punkte sind die Pole der Erde, und zwar der in der Nordhälfte liegende der Nordpol, der entgegengesetzte der Südpol. Obige gerade Linie heißt die Erdaxe. Die verlängerte Erdaxe stellt die Himmelsaxe vor. Demnach ist letztere durch erstere bestimmt. Die Kreise, welche einzelne Punkte der Erde bei ihrer Axendrehung beschreiben, sind mit einander parallel, und heißen daher mit Recht Parallelkreise der Erde. Der größte Parallelkreis ist der Aequator der Erde. Die Ebene des Erdäquators fällt in die des Himmelsäquators, und dieser wird, so wie die Weltaxe, durch die Lage der Erdaxe bestimmt. Man kann nun, dieses Zusammenhanges wegen, die bekannte Lage der genannten Linien und Ebenen am Himmel dazu benützen, um die Lage eines Ortes auf der Erde zu bestimmen. So wie ein Punkt am Himmel durch Abweichung und gerade Aufsteigung bestimmt wird, eben so ist ein Punkt auf der Oberfläche der Erde durch seine Breite und Länge gegeben.

23. Die Breite eines Ortes wird gemessen durch den Bogen seines Meridians, der zwischen ihm und dem Aequator liegt. Sie heißt nördliche oder südliche Breite, je nachdem der Ort dem Nordpole oder dem Südpole näher liegt, und ist immer der Polhöhe des Ortes gleich. Es sey C (Fig. 360) der Mittelpunkt der Erde, wovon ApbB einen durch die Pole gehenden Durchschnitt vorstellt, A ein Ort auf ihrer Oberfläche, AZ seine Verticale, AH sein scheinbarer Horizont, p einer der Erdpole, P der entsprechende Pol am Himmel, Bb der Aequator der Erde, mithin ACB die Breite von A. Wegen der gegen die Himmelssphäre verschwindenden Größe der Erde

kann man die Richtung AP', nach welcher P von A aus gesehen wird, mit CP parallel annehmen, und P'AH als die Polhöhe von A ansehen. Unter dieser Voraussetzung ist BCA = P'AH, weil die Seiten dieser Winkel auf einander senkrecht stehen.

Dieser Satz setzt uns in den Stand, die Lage der Parallelkreise der Himmelssphäre in jedem Orte von bekannter Polhöhe voraussagen und angeben zu können, daß diese unter dem Aequator auf dem Horizonte senkrecht stehen, unter dem Pole mit ihm parallel laufen, und daß diese Ebenen nur außer den Polen und außer dem Aequator eine schiefe Lage gegen den Horizont haben.

24. Die Länge eines Ortes ist der Winkel, den der Meridian dieses Ortes mit irgend einem bekannten, als ersten angenommenen Meridiane macht. Sie wird mithin durch den zwischen beiden Meridianen gelegenen Bogen des Aequators gemessen. Ptolomäus zog seinen ersten Meridian durch die canarischen Inseln, als die äußerste, westliche Grenze des damals bekannten Continents, und viele nehmen noch heut zu Tage den durch Ferro gezogenen Mittagskreis für den ersten an, aber meistens zieht jede Nation durch ihr vorzüglichstes Observatorium ihren Hauptmeridian. Je nachdem ein Ort östlich oder westlich vom ersten Meridiane liegt, hat er auch eine östliche oder eine westliche Länge. Es wäre sehr zu wünschen, daß alle Astronomen und Geographen denselben Meridian als ersten annähmen, oder doch einen solchen, der durch einen unveränderlichen, immer wieder bestimmbaren Punkt der Erde geht. Fängt man in zwei Orten, deren Längenunterschied zu finden ist, die Zeit mit der Culmination desselben Sternes zu zählen an; so muß der Zeitunterschied t beider Orte, in demselben Augenblicke, nach der Proportion $24 : t = 360 : x$ die gesuchte Längendifferenz geben. Deßhalb dienen zur Bestimmung dieser Differenz vorzüglich Uhren, die sich ohne Störung ihres Ganges von einem Orte zum anderen tragen lassen, oder solche Phänomene, die in beiden Orten zugleich gesehen werden können, oder bei denen der Zeitunterschied ihres Erscheinens der Rechnung unterworfen werden kann, wie z. B. Feuersignale, der Anfang und das Ende einer Mondesfinsterniß oder einer Verfinsterung der Jupiterstrabanten, Sternbedeckungen durch den Mond, die Lage bekannter Sterne gegen den Mond ꝛc. Liegt einer der beiden Orte im ersten Meridiane; so ist hiedurch zugleich die absolute Länge des anderen gegeben. Dasselbe findet Statt, wenn die Länge des einen der beiden Oerter schon aus vorläufigen Beobachtungen bekannt ist. Man braucht daher nur die Länge eines Ortes unmittelbar nach dem ersten Meridiane zu bestimmen, die Längen der übrigen ergeben sich, indem man stets einen Ort mit einem schon früher bestimmten vergleicht.

25. Wiewohl die Bestimmung der geogr. Länge und Breite für das feste Land von der größten Wichtigkeit ist, weil man dadurch manches schon den Alten bekannte Land der Lage und Größe nach näher zu bestimmen vermochte, und vielen neu entdeckten Ländern ihren Ort auf der Erdoberfläche genau anwies; so hat sie doch für den Seefah-

rer noch größeren Vortheil, indem dieser dadurch in den Stand gesetzt wird, den Ort seines Schiffes in jedem Augenblicke anzugeben, die Sicherheit seines Weges und die Zweckmäßigkeit seiner Richtung zu beurtheilen. Leider sind zur See viele Mittel, die man auf dem festen Lande zur Bestimmung der Länge anwenden kann, fast ganz unanwendbar, wiewohl man sie da am meisten bedürfte, und man muß oft, wenn Wolken den Anblick der Gestirne, und hiemit alle Mittel, die der Himmel darbietet, rauben, aus der bloß oberflächlich geschätzten Geschwindigkeit und Richtung des Schiffes die Länge des Ortes beurtheilen, besonders wenn einem keine genaue Uhr zu Gebote steht, die allen Schwankungen des Schiffes und den zur See stark einwirkenden äußeren Einflüssen trotzt. (Siehe: kurze Geschichte der Bemühungen die Meereslänge zu finden, von Hassenkamp. Rinteln 1774. *Zach de vera longitudine et latitudine. Erfurt* 1790.)

26. Durch Angabe der Länge und Breite wird man in den Stand gesetzt, auf einer Kugel, welche die Erde im verjüngten Maßstabe vorstellt, alle Ortschaften zu verzeichnen und Erdgloben zu verfertigen, wohl auch nach den Regeln der Projection Land- und Seekarten zu verzeichnen.

Die vorzüglichsten Projectionsarten für Landkarten sind folgende:

1. Die orthographische, welche entsteht, wenn man sich an einem Punkte der Erde B (Fig. 361) eine berührende Ebene BC denkt, und von den zu verzeichnenden Punkten der Erdoberfläche a, b, c die auf BC Senkrechten aa′, bb′, cc′, zieht. Ist der Berührungspunkt ein Pol, so heißt diese Projection orthographische Polarprojection. Da sind alle Parallelkreise wieder Kreise in der Projectionsebene und alle Meridiane gerade Linien. 2. Die stereographische Projection. Bei dieser denkt man sich das Auge O (Fig. 362) in einem Punkte der Kugeloberfläche, welcher dem zu entwerfenden Lande gegenübersteht, und zieht von diesem durch die Punkte der Erdoberfläche gerade Linien, bis sie die Projectionsebene treffen. Bei dieser Projectionsart erscheinen alle Kreise auf der Kugelfläche wieder als Kreise, und diese schneiden sich unter denselben Winkeln wie jene. 3. Die Kegelprojection. Diese braucht man zur Darstellung kleiner Theile der Erdoberfläche. Berührt z. B. der Kegel abc (Fig. 363) die Kugelfläche in der Zone bdce, so erhält man durch Abwicklung des Kegels auf einer Ebene die Parallelkreise de, bc als Kreisbögen von den Halbmessern da, ba, und die Meridiane werden gerade in a zusammenlaufende Linien. — Bei der Abbildung kleiner Stücke der Erde, die man als eben betrachten kann, zieht man die Parallelkreise und Meridiane als gerade, sich unter rechten Winkeln schneidende Linien so, daß sie Rechtecke bilden, oder wenn dieses nicht wohl angeht, so vermindert man die Grade der äußersten Parallelkreise im gehörigen Verhältnisse gegen die der Meridiane, und verbindet dann die Theilungspunkte durch gerade Linien, damit man Trapeze erhalte, welche von Rechtecken desto mehr abweichen, je größer der Breitenunterschied der äußersten Parallelkreise ist. — Seekarten werden am zweckmäßigsten nach einer Projection entworfen, vermöge welcher die Meridiane und Parallelkreise Rechtecke mit einander machen, so daß die Grade der Parallelkreise einander gleich bleiben, aber die der Meridiane in demselben Verhältnisse wachsen, in welchem die Grade der Parallelkreise der Kugeloberfläche abnehmen. Man nennt sie Mer-

cators oder reducirte Karten. Sie gewähren den Vortheil, daß die Richtungen der Winde mit allen Meridianen der Karte gleiche Winkel und gerade Linien machen, während sie auf der Kugel krumme Linien, sogenannte Loxodromien bilden. (Mehr hierüber liefert: Mayer's gründlicher und ausführlicher Unterricht zur practischen Geometrie. Erlangen 1815. 4 Th. Kapitel 3—7. Littrow's theoretische und practische Astronomie. Wien 1821. 2. B. S. 336.)

27. Aus der durch obige Gründe bewiesenen Bewegung der Erde läßt sich schon schließen, daß sie keine sphärische Gestalt haben könne, sondern an den Polen etwas abgeplattet seyn müsse, wenn sie sich ja einmal in einem Zustande befunden hat, wo die Theile dem Zuge der Schwere ungehindert folgen konnten; denn die aus ihrer Axendrehung entstandene Fliehkraft mußte die Schwere am Aequator am meisten vermindern, und daselbst eine Protuberanz, an den Polen hingegen eine Abplattung hervorbringen. Auch der Umstand, daß der größere Theil der Erdfläche mit Wasser bedeckt ist, und dieses den bewegenden Kräften leicht folgt, läßt auf das Vorhandenseyn der abgeplatteten Gestalt der Erde schließen. Man ist sogar im Stande, die Größe der Abplattung der Erde bloß aus der bei ihrer Axendrehung entstehenden Fliehkraft oder aus der Wirkung, die der Mond auf die Erde wegen ihrer Abplattung ausübt, zu berechnen. Sie läßt sich aber auch durch Messungen der Meridiangrade in verschiedenen Breiten und durch Beobachtung der Pendellänge an verschiedenen Orten finden. Zum Behufe der Gradmessungen wird zuerst der Unterschied der Polhöhe zweier Oerter bestimmt. Da dieser die Größe des dazwischen gelegenen Bogens des Meridians in Graden angibt; so kann man, wenn er geometrisch nach Klaftern bestimmt ist, hieraus auf die Größe eines Grades schließen. Diese Messungen, auf solche Art vorgenommen, zeigen bald, daß die Meridiangrade in verschiedenen Breiten eine verschiedene Größe haben und mit der Breite zunehmen, mithin daß die Erde an den Polen abgeplattet sey. Nimmt man nun an, die Erde sey ein durch Umdrehung einer Ellipse entstandenes Sphäroid, so reicht die Länge zweier Meridiangrade hin, den Unterschied zwischen der großen und kleinen Axe der Ellipse, d. i. die Differenz zwischen der Axe des Aequators und jener des Meridians an den Polen der Erde zu bestimmen. Man nennt diesen Unterschied, in Theilen der durch die Pole gehenden Axe ausgedrückt, die Größe der Abplattung oder die Ellipticität der Erde. Indeß sind die bei den Gradmessungen so leicht zu begehenden Beobachtungsfehler so zahlreich, daß es wohl zu gewagt scheint, alles bis ins kleinste Detail für wahr zu halten, was daraus folgt; ja selbst bei völliger Fehlerlosigkeit der Messungen kann schon der Umstand die daraus gemachten, auf die ganze Erde ausgedehnten Folgerungen sehr verdächtig machen, daß die Gestalt einzelner Unregelmäßigkeiten der Oberfläche der Erde, welche in die gemessenen Grade fallen, von einem elliptischen Sphäroide abweicht. — Um die Abplattung der Erde aus Pendelbeobachtungen abzuleiten, muß man die Länge des Secundenpendels an Orten von sehr verschiedener Breite bestimmen, von dieser das

Verhältniß der Schwere in diesen Stationen ableiten, und aus diesem Verhältnisse auf das der Entfernung der Stationen vom Centrum der Erde schließen. Wenn man die Resultate der Berechnung der Abplattung aus der Fliehkraft, aus Gradmessungen und Pendelbeobachtungen mit einander vergleicht; so findet man leider so große Differenzen, daß man die Aufgabe noch keinesweges für vollkommen gelöst halten darf. Aus der Größe der Fliehkraft folgt nach Ivory eine Abplattung von $\frac{1}{289}$; aus astronomischen Bestimmungen $\frac{1}{296.1}$, aus den Gradmessungen (nach Laplace) im Mittel $\frac{1}{308}$, und aus den Pendelbeobachtungen (nach Sabine) $\frac{1}{289.1}$. Unter allen diesen verdient das aus Pendelbeobachtungen abgeleitete Resultat das meiste Zutrauen.

28. Nimmt man die Abplattung von $\frac{1}{289.1}$ vor der Hand als richtig an; so erhält man folgende Größen, welche die Gestalt und Dimensionen der Erde näher bestimmen:

Halber Durchmesser des Aequators	= 3271952	Toisen.
Halbe Axe	3260634	»
Halbmesser für 45°	3266260	»
Halbmesser eines Kreises, der mit dem Meridiane von gleicher Größe ist	3266295	»
Halbmesser einer Kugel von gleichem Inhalte mit dem Erdellipsoide	3268175	»
Länge eines Meridianquadranten	1347.667	Meil.
Kubikinhalt der Erde nahe	2650686000	K. M.

(Brandes in Gehler's Wörterbuch B. 3. S. 832 u. f.)

29. Wiewohl die Größe der Erde gegen die Himmelssphäre verschwindet, und daher der scheinbare Ort eines Punktes dieser Sphäre von dem Standpunkte des Beobachters auf der Erde ganz unabhängig ist; so ist doch ein Erdhalbmesser nicht auch gegen die Entfernung der Planeten, des Mondes und der Sonne verschwindend klein, und es hängt der scheinbare Ort dieser Körper am Himmelsgewölbe von dem Standpunkte des Beobachters auf der Erde ab. Stellt AB (Fig. 364) einen Durchschnitt der Erde vor, welcher durch zwei Beobachtungsorte A und B geht, abc den Durchschnitt der Himmelssphäre, an welcher uns die Himmelskörper erscheinen; so wird ein Stern S von A aus gesehen in s', von B aus gesehen in s erscheinen. Der Winkel ASB, den die Gesichtslinien AS und BS in S machen, heißt die Parallaxe des Sternes. Um richtige und übereinstimmende Resultate über die relative Lage der Himmelskörper zu erhalten, reducirt man alle, gegen deren Entfernung die Größe der Erde nicht verschwindet, auf den Ort, wo sie vom Mittelpunkte der Erde aus erscheinen. Ist C (Fig. 364) der Mittelpunkt der Erde und eines Durchschnittes derselben, welcher in einer durch den Stern S' und den Beobachtungsort A gehenden Verticalebene liegt; so erscheint S' von C aus gesehen im Punkte s'' der Himmelssphäre; mithin muß die scheinbare Höhe des Sternes um die Parallaxe AS'C vermehrt werden, damit man seine wahre Höhe finde. Daß diese Parallaxe immer kleiner werde, je mehr sich S' dem Scheitelpunkte nähert, und daß sie im

Zenith selbst verschwinde, ist klar. Aehnliche Correctionen müssen auch an der Abweichung und geraden Aufsteigung eines solchen Gestirnes angebracht werden, um sie vom Einflusse des Standortes auf der Erde zu befreien.

30. Man hat verschiedene Methoden, die Parallaxe eines Sternes zu finden, die desto mehr Genauigkeit gewähren, je näher der Körper der Erde steht. Um aber die Parallaxe vom Einflusse der Höhe des Gestirnes, bei dem sie gefunden wurde, zu befreien, muß man sie auf jene reduciren, welche der Himmelskörper im Horizonte hat. Ist $ASC = h$ die Horizontalparallaxe des Sternes S, $AS'C = a$ die Höhenparallaxe desselben Sternes S', $AC = r$ der Erdhalbmesser; so hat man: $r : SC = \sin h : 1$; $r : S'C = \sin a : \cos SAS'$, mithin, weil $SC = S'C$ ist,

$$\sin h : 1 = \sin a : \cos SAS' \text{ und } \sin h = \frac{\sin a}{\cos SAS'}.$$

31. Die Parallaxe eines Gestirnes S dient oft zur Bestimmung seiner Entfernung vom Mittelpunkte der Erde und seiner Größe. Denn im Dreiecke ASC ist $r : SC = \sin h : 1$, und daher

$$SC = \frac{r}{\sin h}.$$

Denkt man sich einen Beobachter in S, so erscheint ihm der Halbmesser der Erde AC unter dem Winkel $ASC = h$. Bestimmt man nun den scheinbaren Halbmesser ρ des Gestirnes von der Erde aus gesehen, so muß er sich zu seiner Horizontalparallaxe h verhalten, wie der wahre Halbmesser des Gestirns R zum Halbmesser der Erde r, oder es ist $\rho : h = R : r$, und daher $R = \frac{\rho}{h} r$ und für $r = 1$ wird $R = \frac{\rho}{h}$.

Ueber dieses Kapitel siehe: Anleitung zur allgemeinen Kenntniß der Erdkugel von Bode. Berlin 1820. Lehrbuch der mathematischen Geographie von Fries. Leipzig 1814. Allgemeine mathematische Erdbeschreibung von Hochstetter. Stuttgart 1820. *La figure de la terre par M. Bouguer, et de la Condamine. Paris* 1787—1788. Lehrbuch der math. und physischen Geographie von Schmidt. Göttingen 1829. Handbuch der math. und physischen Geographie von Muncke. Heidelberg 1830. (Als 2ter Theil seines Handbuches der Naturlehre.)

Viertes Kapitel.

Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde.

32. Schon der Umstand, daß den nächtlichen Himmel immer andere Sterne schmücken, und daß erst nach einem Jahre wieder dieselben zum Vorscheine kommen, zeigt, daß der Sonne nebst der tägli-

chen Bewegung, die sie mit dem ganzen Himmel gemein hat, auch noch eine eigene zukommen müsse; allein noch mehr überzeugt man sich davon und zugleich von der Richtung dieser Bewegung, wenn man einen Fixstern mit der Sonne einige Zeit hindurch vergleicht. Geht man von dem Tage aus, wo ein solcher Fixstern mit der Sonne zugleich aufgeht, so wird man bald bemerken, daß ersterer schon nach einigen Tagen der Sonne gleichsam vorauseile, nach ungefähr drei Monaten schon culminire, wenn diese aufgeht, nach einem halben Jahre bei Sonnenaufgang untergehe, und daß erst nach einem ganzen Jahre der Aufgang beider wieder in dieselbe Zeit falle. Die jährliche Bewegung der Sonne ist daher der täglichen entgegengesetzt.

33. Man hat mit großer Genauigkeit die Lage der Sonnenbahn an der Himmelssphäre kennen gelernt, indem man aus der Beobachtung der Mittagshöhe der Sonne auf ihre Bewegung in der Richtung des Meridians und aus dem Zeitunterschiede zwischen ihrer Culmination und der eines Fixsternes auf ihre Bewegung in der Richtung der Parallelkreise schloß; denn die Resultirende beider Bewegungen gibt die Lage der Sonnenbahn. Dadurch fand man, daß diese Bahn in einer Ebene liege, die den Aequator schneidet, und gegen ihn unter einem Winkel von nahe 23° 28′, mithin gegen die Erdaxe unter einem Winkel von 66° 32′ geneigt sey. Der Durchschnitt dieser Ebene mit der Himmelssphäre gibt einen Kreis am Himmel, der schon früher (11) unter dem Namen Ecliptik vorkam, und dessen Neigung gegen den Aequator die Schiefe der Ecliptik genannt wird. Die Punkte, wo die Ecliptik den Aequator schneidet, sind schon vorhin Aequinoctialpunkte genannt worden. Der nördlichste und südlichste Punkt der Ecliptik heißt Solstitialpunkt, und zwar jener Sommersolstitialpunkt, dieser Wintersolstitialpunkt; die durch sie gehenden Parallelkreise führen den Namen Wendekreise. Die Parallelkreise, in welchen die Pole der Ecliptik liegen, nennt man Polarkreise. Die Meridane, welche durch die Solstitial- und Aequinoctialpunkte gehen, heißen Coluren. Schon in den ältesten Zeiten hat man die Ecliptik in zwölf gleiche Theile oder Zeichen getheilt, wovon also jedes 30 Grade enthält. Sie haben von den benachbarten Sternbildern die Namen: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische, und führen der Ordnung nach die Zeichen:

♈, ♉, ♊, ♋, ♌, ♍, ♎, ♏, ♐, ♑, ♒, ♓.

34. Wenn man die Zeit, welche die Sonne braucht, um vom Frühlingsäquinoctialpunkte zum Herbstäquinoctialpunkte zu kommen, mit der vergleicht, in welcher sie von diesem Punkte zu jenem gelangt; so findet man, daß sie zu ersterem Wege fast um 8 Tage mehr braucht als zu letzterem. Es ist daher die Bewegung der Sonne in ihrer Bahn keine gleichförmige. Genaue Beobachtungen haben kennen gelehrt, daß die Geschwindigkeit der Sonne in einem Punkte ihrer Bahn am größten sey, der sich in der Nähe des Wintersolstitialpunktes befindet, daß sie von da an immer kleiner, in einem dem Sommersol-

stitium nahen Punkte am kleinsten werde, und von hier aus gegen ersteren wieder wachse. Mit der größten Geschwindigkeit beschreibt sie täglich einen Bogen von 1°.0104, mit der kleinsten einen Bogen von 0°.9534, und ihrer mittleren Geschwindigkeit entspricht ein Bogen von 0°.9856. Diese Aenderungen der Geschwindigkeit könnten auch scheinbar seyn, und durch eine Aenderung der Entfernung hervorgebracht werden; denn derselbe Bogen erscheint kleiner oder größer, je nachdem er mehr oder weniger vom Beobachter entfernt ist. Wirklich zeigen Beobachtungen, daß die Sonne gerade da, wo ihre Geschwindigkeit zunimmt, der Erde näher komme, und daß ihre Entfernung von der Erde wachse, wenn ihre Geschwindigkeit im Abnehmen begriffen ist; denn ihr scheinbarer Durchmesser, der mit ihrer Entfernung im verkehrten Verhältnisse steht, nimmt in jenem Falle zu, in diesem ab. Allein wenn die Veränderungen der Geschwindigkeit der Sonne bloß von ihrer Entfernung abhingen, und an und für sich ihre Geschwindigkeit beständig wäre; so müßte sich ihr scheinbarer Durchmesser gerade in demselben Verhältnisse vermindern, in welchem ihre Geschwindigkeit kleiner wird. Dieser nimmt aber in einem zweimal größeren Verhältnisse ab, als ihre Geschwindigkeit, und es muß daher die Geschwindigkeit der Sonne wirklich kleiner werden, indem sie sich von uns entfernt und umgekehrt. Der Erfahrung gemäß ist das Product ihrer Entfernung in das Quadrat des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens eine beständige Größe.

35. Wenn durch Beobachtungen des scheinbaren Durchmessers der Sonne die Veränderungen der Entfernung (des Radius Vectors) und durch die Größe des in einem Tage zurückgelegten Bogens in ihrer Bahn die Lage des Mittelpunktes der Sonne Tag für Tag gegeben ist; so kann man auch Tag für Tag die Lage und Länge des Radius Vectors verzeichnen, und durch die Endpunkte eine krumme Linie ziehen, welche die Sonnenbahn vorstellen wird. So überzeugt man sich, daß diese Bahn eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkte sich die Erde zu befinden scheint. Die Excentricität dieser Ellipse ist sehr gering, denn die große Axe derselben beträgt 1.03416, wenn man die kleine = 1 setzt. Den Punkt der Sonnenbahn, der die größte Entfernung von der Erde hat, nennt man ihr Apogäum, denjenigen, dessen Entfernung von der Erde am kleinsten ist, Perigäum. Die gerade Linie, welche beide Punkte verbindet, oder die große Axe der Ellipse heißt Absidenlinie.

36. Die Erscheinungen der jährlichen Bewegung der Sonne lassen sich sowohl aus einer wirklichen Bewegung der Sonne um die Erde von West gegen Ost, als aus einer Bewegung der Erde um die Sonne von Ost gegen West erklären. Der bloße Augenschein kann hier so wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er es bei der täglichen Bewegung zu thun vermochte; es müssen daher andere Gründe für die eine oder die andere dieser Bewegungen sprechen. Diese fallen aber alle zu Gunsten der Bewegung der Erde um die Sonne aus, wie Folgendes zeigt: Es mag die Bewegung der Sonne oder der Erde als wirklich angenommen werden; so muß sie durch Centralkräfte bewirkt werden,

weil nur dadurch die bei der krummlinigen Bewegung entstandene Fliehkraft aufgehoben werden kann, und weil die beschriebenen Sectoren ihren Zeiten proportionirt sind. Allein die Folge wird zeigen, daß die Sonne ein viel größerer Körper sey, als die Erde. Wie kann daher die Erde eine Centralkraft besitzen, welche die Sonne in ihrer Bahn erhält? um wie viel natürlicher ist es, der Sonne diese Kraft anzuweisen, und so den kleineren Körper um den größeren sich bewegen zu lassen. Die Gründe, welche etwa ein Erdbewohner für die Bewegung der Sonne um die Erde haben dürfte, hat auch ein Bewohner jedes anderen Planeten für die Bewegung der Sonne um diesen Planeten, weil wir an jedem derselben eine jährliche Bewegung wahrnehmen. Allein, abgesehen von der Schwierigkeit, welche die beobachtete Ungleichheit der Umlaufszeiten der Sonne um jeden einzelnen Planeten mit sich führen würde; so geriethe man in directen Widerspruch mit den unumstößlichen Gesetzen der Bewegung, während alles im besten Einklange mit diesen Gesetzen ist, wenn man eine Bewegung der Erde um die Sonne annimmt.

Fünftes Kapitel.

Ergebnisse aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde.

37. Aus der im Vorhergehenden bewiesenen zweifachen Bewegung der Erde und aus den Aenderungen der Elemente ihrer Bahn, lassen sich alle Phänomene, welche die relative Lage der Erde überhaupt, und die jedes Punktes derselben gegen die Sonne betreffen, vollkommen begreifen. Vermöge dieser Bewegungen beschreibt jeder Punkt der Erde in einer gegebenen Zeit eine Bahn, welche die Resultirende der Wege ist, die er durch jede einzelne Bewegung für sich zurücklegen würde, und die daher für jeden einzelnen Fall leicht zu finden ist, wenn man nur jede einzelne Bewegung genau kennt.

38. Von der Axendrehung der Erde hängt der Wechsel von Tag und Nacht, so wie überhaupt der Auf- und Untergang der Gestirne ab. Denkt man sich einen Halbmesser der Erde durch einen Punkt A der Erdoberfläche außer der Erdaxe bis zur Himmelssphäre verlängert, so trifft er wegen der täglichen Bewegung der Erde immer andere Punkte. Befindet sich nun in dem Punkte der Himmelssphäre, welchen er trifft, ein Fixstern; so wird dieser dem Erdbewohner, der seine eigene Bewegung von West nach Ost nicht gewahr wird, einen Kreis am Himmel zu beschreiben scheinen, der desto größer ist, je näher der Winkel, den der Radius von A mit der Erdaxe macht, einem rechten kommt. Ist dieser Winkel $=0$, oder liegt A in einem Pole, so wird der Punkt am Himmel zu ruhen scheinen, und also ein Pol der Himmelssphäre seyn; beträgt jener Winkel $90°$, so wird seine Bahn am größten, sie liegt im Himmelsäquator. Die Umlaufszeit eines Fixsternes ist demnach zugleich die der Umdrehung der Erde um ihre Axe. Man nennt sie

einen Sterntag und theilt sie in 24 gleiche Theile, Sternstunden ab. Jeder Punkt des Aequators beschreibt in einem solchen Tage 5400 Meilen, mithin in einer Secunde 1428 Par. F. In Punkten außer dem Aequator ist diese Bewegung langsamer, und zwar nach Verhältniß des Cosinus ihrer Breite.

39. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde haben alle ihre Theile eine gleiche Geschwindigkeit und legen im Durchschnitte in einem Tage einen Weg von 346836 Meilen, mithin in einer Secunde nahe 4 M. zurück. Diese Bewegung ist der täglichen der Richtung nach entgegengesetzt, und daher kommt es, daß die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf um die Erde zu machen scheint, größer ausfällt als die, in welcher ein Fixstern dasselbe thut. Man nennt die Zeit eines scheinbaren täglichen Sonnenumlaufes Sonnentag und seinen 24sten Theil eine Sonnenstunde. Wegen der Ungleichförmigkeit der jährlichen Bewegung der Erde ist der Sonnentag nicht immer gleich lang. Weil dieses den Geschäften des bürgerlichen Lebens, die man stets nach Sonnenzeit regulirt, nicht günstig ist; so nimmt man eine Sonne an, welche ihre jährliche scheinbare Bahn in derselben Zeit zurücklegt, wie die wahre, allein mit stets gleicher Geschwindigkeit und parallel mit dem Aequator. Man nennt sie die mittlere Sonne, die Zeit ihres Umlaufes mittleren Sonnentag, ihren 24sten Theil mittlere Sonnenstunde u. s. f. Der Unterschied zwischen der wahren und mittleren Sonnenzeit heißt Zeitgleichung. Es liegt in der Natur der jährlichen Bewegung der Erde, daß die wahre Zeit bald der mittleren voreilt, bald hinter ihr zurückbleibt. Viermal des Jahres fallen die mittlere und wahre Zeit zusammen, oder die Zeitgleichung ist = 0. Dieses geschieht ungefähr den 11. Februar, 16. Mai, 26. Juli und 1. November. Die größte Zeitgleichung beläuft sich ungefähr auf 30 M. Ein Sterntag hat 23 St. 56 M. 4.1 S. nach mittlerer Sonnenzeit. Unsere Uhren zeigen in der Regel mittlere Sonnenzeit, nur die Astronomen lassen ihre Uhren oft nach Sternzeit gehen. Eine Sonnenuhr zeigt wahre Sonnenzeit, und kann daher mit einer mechanischen Uhr nicht immer harmoniren.

40. Von der jährlichen Bewegung der Erde hängt die Dauer des Jahres ab. So heißt nämlich die Zeit, innerhalb welcher die Erde wieder zum Frühlingsäquinoctialpunkte zurückkehrt, und zwar nennt man dieses insbesondere tropisches Jahr, zum Unterschiede vom siderischen. Es beträgt 365 T., 5 St., 48 M. und 50.832 S. oder 365.242255 T. Im bürgerlichen Leben rechnet man das Jahr zu 365 Tagen, nur jedes vierte Jahr bekommt 366 Tage und heißt Schaltjahr; der eingeschaltete Tag ist der 23. Februar. Diese Zeitrechnung wurde von Julius Cäsar 46 J. vor Christi Geburt eingeführt, und heißt deßhalb Julianische Zeitrechnung. Allein da hierbei das Jahr zu 365.25 Tage gerechnet ward, beging man jährlich einen Fehler von 0.007745 T., welcher in 400 Jahren schon 3.098 Tage betrug. Dieser Fehler machte im Jahre 1582 schon 10 Tage. Dadurch wurde der Papst Gregor XIII. bestimmt, im Jahre 1582 jene 10 Tage wegzu-

lassen und anzuordnen, daß für die Zukunft alle 400 Jahre drei Schalttage vernachläßiget werden. Deßhalb waren schon 1700, 1800 gemeine Jahre, wiewohl sie der Regel nach Schaltjahre hätten seyn sollen; auch wird 1900 wieder ein gemeines Jahr seyn. Indeß wäre dadurch nicht aller künftigen Verwirrung vorgebeugt, weil man in 400 Jahren doch noch einen Fehler begeht, wenn nicht zugleich dafür durch besondere Anordnungen gesorgt wäre.

Da nebst der von der Natur gegebenen Zeiteintheilung in Tage auch noch die in Wochen von 7 Tagen besteht, so bekommt jedes gemeine Jahr $\frac{365}{7} = 52$ Wochen, 1 Tag, und jedes Schaltjahr $\frac{366}{7} = 52$ Wochen, 2 Tage. Ein gemeines Jahr endiget mit demselben Wochentage, mit welchem es anfing, und der Anfang des nächsten gemeinen Jahres fällt auf den folgenden Wochentag. Bezeichnet man die ersten 7 Tage des Monats Jänner mit den Buchstaben A, B, C, D, E, F, G und die folgenden wieder nach derselben Ordnung mit A angefangen; so muß der letzte Tag eines gemeinen Jahres A seyn, wenn der erste A ist. Der Buchstabe, welcher auf den ersten Sonntag fällt, heißt Sonntagsbuchstabe. Dem Gesagten zu Folge rückt der Sonntagsbuchstabe in verkehrter Ordnung von G nach A jährlich um eine Stelle weiter, nur in einem Schaltjahre geschieht dieses um zwei Stellen. Auch bekommt das Schaltjahr zwei Sonntagsbuchstaben, einen vor und einen nach dem Schalttage. Gäbe es keine Schaltjahre, so würde derselbe Sonntagsbuchstabe alle 7 Jahre zurückkehren; ist aber jedes vierte Jahr ein Schaltjahr, so geschieht dieses erst nach $4 \times 7 = 28$ Jahren. Diese Periode von 28 Jahren heißt Sonnenzirkel. Denselben Namen führt auch die Zahl, welche anzeigt, das wie vielte dieser Periode ein gegebenes Jahr sey. (Littrow's Kalendariographie. Wien 1828.)

41. Von besonders großem Einflusse ist die Neigung der Erdbahn gegen ihre Rotationsaxe; denn davon hängt die verschiedene Neigung der auf die Erde einfallenden Sonnenstrahlen ab, welche mit ihrer erwärmenden Kraft in Verbindung stehen, so wie die Dauer ihrer Einwirkung. Stände die Erdaxe senkrecht auf der Ecliptik, so würden die Strahlen der Sonne zu Mittag in demselben Orte das ganze Jahr hindurch unter demselben Winkel einfallen, und daher bei übrigens gleichen Umständen auch täglich nahe dieselbe Erwärmung hervorbringen; allein bei der Einrichtung der Dinge, wo die Erdaxe unter 66° 32′ gegen die jährliche Bahn geneigt ist, ändert sich dieser Winkel täglich. Es sey z. B. S die Sonne (Fig. 365), E ein Durchschnitt der Erde in einer Lage gegen die Sonne, E′ derselbe in derjenigen Lage, welche die Erde nach einem halben Jahre einnimmt, Pp die Erdaxe, Aa der Erdäquator, M ein Punkt der Erde, welcher zu Mittag die Sonne im Scheitel hat, o und o′ ein anderer, auf den die Mittagsstrahlen schief auffallen, oz und o′z′ seine Scheitellinie. Man sieht da deutlich, daß der Einfallswinkel in der Lage E gleich Soz, in der Lage E′ aber So′z′ ist, wo offenbar ersterer Winkel kleiner als letzterer ist. Im astronomischen Sinne heißt für einen in der nördlichen Halbkugel der Erde gelegenen Ort die Zeit, während welcher die nördliche Abweichung der Sonne wächst, Frühling; diejenige, wäh-

rend welcher sie abnimmt, Sommer; diejenige, während welcher die südliche Abweichung wächst, Herbst; und endlich jene, während welcher diese abnimmt, Winter. Während in der nördlichen Halbkugel Sommer ist, herrscht in der südlichen Winter, während des Herbstes der nördlichen Hemisphäre hat die südliche Frühling und umgekehrt. Diese Jahreszeiten sind nicht von gleicher Dauer, weil auch die jährliche Bewegung der Erde nicht gleichförmig ist. Jetzt dauert bei uns der Frühling 92 T., 21 St., 16 M.; der Sommer 93 T., 13 St., 52 M.; der Herbst 89 T., 17 St., 8 M. und der Winter 89 T., 1 St., 31 M. — In der Neigung der Erdaxe gegen die Erdbahn liegt auch der Hauptgrund, warum die Sonne nicht das ganze Jahr hindurch gleich lang über dem Horizonte verweilt, oder wie man zu sagen pflegt, warum es nicht gleich lang Tag ist. Ist z. B. C (Fig. 366) ein Punkt der Erde, der die Polhöhe PCH hat, mithin Hh sein Horizont, Pp die Weltaxe, Aa der Aequator, Bb, Dd, Gg, Kk Parallelkreise, welche in q, r, s, t vom Horizonte geschnitten werden; so stellen AC, Bq, Dr, Gs, Kt die Theile der Parallelkreise vor, welche über dem Horizonte liegen; hingegen Ca, qb, rd, sg, tk diejenigen, welche sich unter demselben befinden. Betrachtet man nun die scheinbare Bewegung der Sonne während eines täglichen Umlaufes als gleichförmig; so geben solche zwei Stücke des Parallelkreises der Sonne das Verhältniß zwischen der Dauer von Tag und Nacht für diese Zeit an. Hieraus sieht man, daß Tag und Nacht gleich sind, wenn sich die Sonne im Aequator befindet, daß der Tag länger ist als die Nacht, wenn die Sonne gegen P abweicht, und zwar desto mehr, je größer diese Abweichung wird, und daß das umgekehrte Verhältniß Statt findet, wenn die Sonne gegen p abweicht. Wenn PCH größer wird, so schneidet auch Hh die Parallelkreise in noch ungleichere Stücke; daher muß in derselben Zeit die Differenz zwischen Tag und Nacht desto größer seyn, je größer die Polhöhe eines Ortes ist. Deßhalb ist in Ländern, deren Breite oder Polhöhe = 0 ist, das ganze Jahr Tag und Nacht gleich, und aus dieser Ursache dauert der längste Tag in Oertern von großer Polhöhe mehrere Wochen, ja Monate, bis bei einer Polhöhe von 90° das ganze Jahr nur in einen Tag und eine Nacht zerfällt.

Folgendes Verzeichniß gibt die Dauer des längsten Tages für Länder von gegebener Polhöhe.

Polhöhe.		Dauer des längsten Tages.		Polhöhe.		Dauer des längsten Tages.	
8 Grad	34 M.	12 St.	30 M.	54 Grad	31 M.	17 St.	— M.
16 »	44 »	13 »	— »	56 »	38 »	17 »	30 »
24 »	12 »	13 »	30 »	58 »	27 »	18 »	— »
30 »	48 »	14 »	— »	60 »	0 »	18 »	30 »
36 »	31 »	14 »	30 »	61 »	19 »	19 »	— »
41 »	24 »	15 »	— »	62 »	26 »	19 »	30 »
45 »	32 »	15 »	30 »	63 »	23 »	20 »	20 »
49 »	2 »	16 »	— »	64 »	11 »	20 »	30 »
52 »	0 »	16 »	30 »	64 »	50 »	21 »	— »

Polhöhe.				Dauer des längsten Tages.				Polhöhe.				Dauer des längsten Tages.	
65	Grad	22	M.	21	St.	30	M.	67	Grad	23	M.	1	Monat.
65	»	48	»	22	»	—	»	69	»	50	»	2	»
66	»	8	»	22	»	30	»	73	»	39	»	3	»
66	»	21	»	23	»	—	»	78	»	31	»	4	»
66	»	29	»	23	»	30	»	84	»	5	»	5	»
66	»	32	»	24	»	—	»	90	»	0	»	6	»

42. Die Elemente der Erdbahn sind nicht unveränderlich, sondern alle bis auf die große Axe der Ellipse unterliegen kleinen Veränderungen. Genaue Beobachtungen haben gelehrt, daß sich die Lage der Fixsterne gegen den Aequator alle Jahre ändere, während, sie gegen die Ecliptik unverändert bleibt. Diese Veränderung rührt davon her, daß die Aequinoctialpunkte auf der Ecliptik jährlich um eine gewisse Größe von Ost nach West fortrücken, so, daß sie in 72 Jahren um einen Grad weiter kommen, oder in nahe 26,000 Jahren (platonisches Jahr) einen ganzen Umlauf machen. Es ist daher die Erdaxe nicht völlig unbeweglich, sie geht in 26,000 Jahren einmal um die Pole der Ecliptik herum. Man nennt diese Bewegung das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präcession. Aus derselben folgt, daß die Erde kürzere Zeit brauche, um wieder zur Nachtgleiche, als um wieder zu demselben Fixsterne zurückzukehren, oder daß die tropische Umlaufszeit kürzer sey, als die siderische oder wahre. Letztere beträgt 365.25638 Tage.

43. Als das Phänomen des Vorrückens der Nachtgleichen schon im Reinen war, bemerkte Bradley doch noch kleine periodische Ungleichheiten in der Neigung der Ecliptik gegen den Aequator und in der Präcession, die man erklärt, wenn man annimmt, daß sich die Erdpole nicht in einem Kreise bewegen, wie dieses das Vorrücken der Nachtgleichen allein für sich fordert, sondern daß dieses in einer kleinen Ellipse geschehe, deren Umfang in 18 Jahren zurückgelegt wird, welche Ellipse aber selbst ihren Mittelpunkt im Umfange des Kreises hat, der vermöge der Präcession beschrieben wird. Diese Bewegung begreift man unter dem Namen der Nutation (Wanken der Axe).

44. Die Schiefe der Ecliptik erleidet zwar schon durch die Nutation eine kleine Veränderung, die alle 18 Jahre wieder von Neuem beginnt; allein selbst abgesehen von dieser Veränderung, unterliegt dieser Winkel einem periodischen Wachsen und Abnehmen. Nach La Place beträgt der ganze Umfang dieser Veränderung 6° 20′, und dazu braucht es mehrere tausend Jahre.

45. Die Sonnenferne und Sonnennähe fallen nicht immer in dieselbe Stelle der Erdbahn, sondern sie rücken jährlich um eine kleine Größe in der Ecliptik vor, so daß die Erde etwas mehr Zeit braucht, um wieder zur Sonnennähe, als um wieder zu einem Fixsterne zurückzukehren. Erstere Umlaufszeit heißt anomalistisches Jahr und beträgt 365.259713 Tage. Diese Veränderung ist unter dem Namen:

Bewegung der Absidenlinie bekannt, und beträgt jährlich 11″.8.

46. Vermöge der Präcession und Nutation ändert sich nur die Lage der Sterne gegen den Aequator und die Ecliptik, nicht aber gegen einander. Allein Bradley bemerkte an den Fixsternen auch noch eine kleine, periodische Aenderung ihrer Lage gegen einander. Um sich diese Bewegung vorzustellen, lasse man jeden Fixstern jährlich einen kleinen, mit der Ecliptik parallelen Kreis, dessen Centrum der mittlere Ort des Sternes ist, und dessen Durchmesser, von der Erde aus gesehen, ungefähr 20″ beträgt, eben so beschreiben, wie die Sonne sich in der Ecliptik bewegt, jedoch so, daß diese immer um 90° voraus ist. Dieser Kreis erscheint am Himmelsgewölbe als Ellipse von größerer oder kleinerer Excentricität, je nachdem der Stern weniger oder mehr von der Ecliptik entfernt ist. In der Ecliptik selbst geht diese Ellipse in eine gerade Linie über. Dieses Phänomen führt den Namen Aberration. Daß es nicht durch eine den Sternen eigene Bewegung hervorgebracht werde, sondern in einer Bewegung außer den Gestirnen seinen Grund habe, läßt sich schon aus der allen Sternen gemeinschaftlichen Größe des Kreises vermuthen, der nur durch seine Projection auf die Himmelssphäre eine mehr oder weniger excentrische Ellipse erzeugt. Da überdieß alle diese Kreise mit der Ecliptik parallel liegen und der Ort des Sternes in diesem Kreise in so genauer Verbindung mit dem der Sonne steht; so bleibt wohl kein Zweifel, daß der Grund dieser Erscheinung in der Bewegung der Sonne oder der Erde liege. Eine genaue Betrachtung der Sache zeigt, daß sich alles bis auf die kleinsten Zahlenwerthe erkläre, wenn man die durch andere Erscheinungen bewiesene, successive Fortpflanzung des Lichtes mit der jährlichen Bewegung der Erde zusammensetzt. Wie dieses geschieht, mag folgende Betrachtung lehren: Es sey S (Fig. 367) ein Stern, der dem Beobachter A einen Strahl SA zusendet, längs welchem das Licht in einer gegebenen Zeit von A aus den in der Verlängerung von SA befindlichen Weg AB zurücklegt. Bewegt sich der Beobachter und legt er in derselben Zeit den Weg AC zurück, so wirkt das Licht auf dessen Auge gerade so ein, als ob es nebst seiner eigenen Bewegung, auch noch eine der Bewegung des Beobachters gleiche und entgegengesetzte besäße, dieser aber in Ruhe wäre. Nimmt man dem zu Folge AD = AC, so gibt die Diagonale AE des Parallelogramms ABED die Richtung an, die der Beobachter im Punkte A seiner Bahn dem von S herrührenden Lichte zuschreibt. Er sieht daher den Stern in der Verlängerung von EA, z. B. in S′, d. h. er versetzt ihn nach der Richtung seiner eigenen Bewegung um den Winkel SAS′ vorwärts, dessen Größe sich aus dem Verhältnisse der Geschwindigkeit des Lichtes zu jener der Erde und aus den Richtungen beider berechnen läßt. Man findet ihn = 10″.2. Es muß daher ein Stern in einem Jahre scheinbar eine Ellipse beschreiben, welche der Erdbahn ähnlich ist, und deren große Axe unter dem Winkel 20″.4 erscheint.

Sechstes Kapitel.

Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne.

47. Die Bewegungen der Planeten erscheinen von der Erde aus viel verwickelter, als die scheinbare Bewegung der Sonne; sie gehen aber fast alle in einem Gürtel vor sich, welcher Thierkreis (Zodiacus) heißt, mit der Ecliptik parallel ist und von ihr in zwei gleiche Theile getheilt wird. Zwei Planeten, Venus und Merkur, begleiten immer die Sonne, und heißen untere Planeten, die anderen entfernen sich bis 180°, und werden obere Planeten genannt. Wenn ein Planet oder auch ein anderer Himmelskörper so gegen die Sonne oder einen anderen Körper zu stehen kommt, daß ihr Längenunterschied 180° beträgt, so sagt man, er sey in Opposition; sind ihre Längen gleich, so ist er in Conjunction; beträgt der Längenunterschied 90°, in Quadratur.

48. Die eigene, von der täglichen unabhängige Bewegung der Planeten bietet merkwürdige Veränderungen dar. Man bemerkt, daß zu einer Zeit ihre Bewegung langsamer wird, hierauf völlig aufhört, so daß die Planeten wie Fixsterne ihren Platz eine geraume Zeit hindurch unverändert einzunehmen scheinen. Nach einiger Zeit nehmen sie eine der ersten entgegengesetzte Richtung an, mit der sie bis zu einem gewissen Grade der Geschwindigkeit fortfahren; ist dieser erreicht, so nimmt ihre Geschwindigkeit wieder ab, wird gleich Null, und es beginnt wieder die Bewegung nach der ersteren Richtung. Man sagt, ein Planet sey stationär, wenn er keine eigene Bewegung zu haben scheint; er sey rechtläufig, wenn er sich von West nach Ost bewegt; rückläufig, wenn er eine entgegengesetzte Richtung hat. Unter allen diesen Bewegungen ist die rechtläufige doch die größte, so daß man im Allgemeinen sagen kann, alle Planeten bewegen sich von West nach Ost. Die Planetenbahnen erscheinen demnach, von der Erde aus gesehen, so verwirrt, daß es schwer hält, sich Kräfte zu denken, durch welche sie hervorgebracht werden sollen. Dieses muß um so auffallender seyn, da selbst die scheinbare Bewegung der Sonne so regelmäßig ist, und sich die Natur gleichsam untreu geworden zu seyn scheint, indem hier ihre sonstige Einfachheit und Einheit vermißt wird. Es könnte wohl der Fall seyn, daß diese Verwirrung nur scheinbar wäre, und daß wir uns nur nicht an dem Platze befinden, von wo aus die Planetenbahnen angesehen werden müssen, um sich in ihrer Regelmäßigkeit zu zeigen. In der That bleiben zur Erklärung dieser Erscheinungen nur zwei Wege übrig: entweder sind die Planetenbewegungen wirklich so verwickelt, wie sie erscheinen, und wir befinden uns im Mittelpunkte oder doch innerhalb ihrer Bahnen, oder sie erscheinen uns nur so verwirrt, weil wir uns nicht an der gehörigen Stelle befinden.

49. Die alten Astronomen, an deren Spitze Ptolomäus steht, sahen die Erde als Mittelpunkt der Planetenbahnen an, und erklärten sich ihre verwickelte Bewegung dadurch, daß sie annahmen, jeder Pla-

net bewege sich in einem Kreise abcd (Fig. 368), der Epicykel heißt, dessen Mittelpunkt sich in einem anderen Kreise BAC um die Erde T bewegt, den man excentrischen Kreis nannte, weil T außer seinem Mittelpunkte liegt. Nach dieser Hypothese hat der Planet die schnellste directe Bewegung, wenn er sich in seiner größten Entfernung b von der Erde befindet, weil da seine Bewegung im Epicykel und die des Epicykels im Kreise ABC nach derselben Richtung geschieht. Bewegt er sich aber im Bogen cda, so scheint er eine der vorigen entgegengesetzte Richtung, mithin eine rückgängige Bewegung zu haben, obgleich seine wahre Bewegung stets rechtgängig ist. Wiewohl diese Hypothese die Planetenbahnen auf eine Bewegung in Kreisen zurückführt und im Allgemeinen die Erscheinungen zu erklären scheint; so fehlt doch bei dieser Ansicht die sonst so erhebende Einheit der Natur, weil sich die Erde in einer einfachen krummen Linie ohne Epicykel bewegt; hingegen jeder Planet einen eigenen Epicykel fordert, bei Mars gar ein dritter Kreis mit dem Epicykel und dem excentrischen Kreise angenommen werden müßte, endlich jede neue Entdeckung am Himmel eine neue Schwierigkeit mit sich bringt.

50. Da nun die Erde nicht der Mittelpunkt der Bewegung der Planeten seyn kann, so handelt es sich darum, einen Punkt zu finden, von dem die Planetenbahnen angesehen werden müssen, um so einfach zu erscheinen, als es dem Charakter der bereits bekannten, immer sehr einfachen Gesetze der Natur gemäß ist. Ein solcher Ort ist die Sonne. Um dieses einzusehen, muß man Mittel kennen, aus dem Orte, wo ein Planet, vom Mittelpunkte der Erde gesehen, erscheint und der geocentrische Ort heißt, den zu bestimmen, wo er vom Mittelpunkte der Sonne aus erscheinen würde, welchen die Astronomen den heliocentrischen Ort nennen. Die einfachste Methode bieten uns für obere Planeten ihre Oppositionen und Conjunctionen dar, weil da ihr geocentrischer Ort mit den heliocentrischen zusammenfällt. Zwei auf einander folgende Oppositionen eines Planeten geben zwei heliocentrische Oerter desselben, und mithin seine Bewegung zwischen beiden Oppositionen, von der Sonne aus gesehen. So überzeugt man sich, daß die Bewegung dieser Planeten von der Sonne aus gesehen, so wie die der Erde um die Sonne, regelmäßig vor sich gehe, daß z. B. Jupiter von einer Opposition zur anderen einen Bogen von 13° — 14° und Saturn einen Bogen von 35° — 37° um die Sonne zurücklege, und daß diese Bewegung stets nach derselben Richtung erfolge. Von den unteren Planeten läßt es sich schon daraus darthun, daß ihre Bahnen die Sonne, nicht aber die Erde einschließen, weil sie nie in Opposition kommen; aber noch deutlicher wird dieses durch Beobachtung ihrer Lichtgestalten. Kehrt uns ein solcher Planet die ganze beleuchtete Scheibe zu, so muß sich nothwendig die Sonne zwischen ihm und der Erde befinden, wie dieses beim Monde im vollen Lichte der Fall ist; steht er aber so, daß wir nichts von der beleuchteten Seite bemerken, wie beim neuen Monde, so muß er sich zwischen der Sonne und der Erde befinden. Man nennt jene Stellung die obere, diese die un-

tere Conjunction der Planeten. Genaue Beobachtungen lehren aber, daß ein unterer Planet von der oberen Conjunction in die untere und von dieser wieder in jene übergehe, mithin um die Sonne herumkomme, ohne jemals die Erde in seine Bahn aufzunehmen.

Für Jupiter und Saturn läßt sich der Satz, daß sie sich um die Sonne bewegen, sogar aus Ptolomäus Bestimmungen beweisen. Die Verfinsterungen der Trabanten Jupiters geben nämlich ein Mittel an die Hand, das Verhältniß seiner Entfernung von der Erde zu jener der Sonne von der Erde zu bestimmen. Es sey z. B. S (Fig. 369) der Ort der Sonne, T der Ort der Erde, A Jupiter, der einen conischen Schatten wirft. Ist die Dauer der Finsterniß eines seiner Trabanten genau bestimmt, so befindet sich der Trabant im Augenblicke des Mittels dieser Dauer in Opposition mit Jupiter, und sein Ort, vom Mittelpunkte Jupiters aus gesehen, fällt mit dem zusammen, wo Jupiter vom Mittelpunkte der Sonne aus erscheint. Da man ersteren aus den bekannten Bewegungen Jupiters und des Trabanten berechnen kann, so ist dadurch für diesen Augenblick auch der heliocentrische Ort Jupiters gegeben. Da auch dessen geocentrischer Ort und der Ort der Sonne für diesen Augenblick bekannt ist, so hat man im Dreiecke SAT die Winkel SAT, STA, mithin auch TSA, und aus anderen Angaben die Größe der Seite TS, mithin auch SA und TA. Es sind also aus jeder Verfinsterung eines Jupitertrabanten die Elemente des Dreieckes AST und mithin der Ort Jupiters gegen den der Erde und der Sonne bekannt. Verbindet man viele so gefundene Oerter Jupiters mit einander, so zeigt die Verbindungslinie die Bahn dieses Planeten, aus der man abnimmt, daß er sich um die Sonne bewege. Auf ähnliche Weise bestimmt man aus dem Verschwinden und Wiedererscheinen des Saturnringes seine Entfernung von der Erde, die $9^1/_2$mal größer ist, als die der Sonne von der Erde. Dieses Verhältniß gibt aber Ptolomäus selbst für das des Halbmessers der Saturnbahn zum Halbmesser seines Epicykels an, und daher ist dieser Epicykel die Erdbahn.

51. In welcher Ordnung sich die Planeten um die Sonne bewegen, lehren folgende Betrachtungen: Venus und Merkur zeigen durch ihre geringen Digressionen von der Sonne, daß sie letzterer näher stehen als die Erde, während die übrigen Planeten von ihr weiter entfernt sind, und bei ihrer Conjunction nicht wie jene vor, sondern hinter der Sonnenscheibe vorbeigehen. Von beiden steht aber wieder Merkur der Sonne näher, als Venus, weil er eine geringere Digression hat und Venus manchmal bedeckt, wie z. B. im Mai 1737 geschah. Die übrigen Planeten folgen in der Ordnung: Mars, Jupiter, Saturn und Uranus; denn die Aenderung des scheinbaren Durchmessers von der Conjunction zur Opposition ist bei Mars größer als bei Jupiter, bei diesem größer als bei Saturn, bei diesem bedeutender als bei Uranus; daher muß auch die Entfernung der Sonne von der Erde gegen ihre Entfernung vom Mars größer seyn, als gegen die vom Jupiter u. s. f., oder, was dasselbe ist, es muß obige Ordnung Statt finden. Die neu entdeckten Planeten: Ceres, Pallas, Juno und Vesta haben ihre Bahnen zwischen denen des Mars und Jupiters. Der Erde ist ihr Platz zwischen Venus und Mars angewiesen.

52. Durch diese Untersuchungen ist nur die Folge der Planeten, und daß ihre Bahnen die Sonne in sich schließen, dargethan; wie aber diese Bahnen beschaffen sind, und nach welchem Gesetze sich in ihnen

die Planeten bewegen, ist dadurch nicht ausgemacht. Die Bestimmung dieser Punkte verdanken wir Kepler, einem der größten Männer aller Zeiten, der es sich zur Aufgabe seines Lebens gemacht hat, die Gesetze der Planetenbewegungen aufzudecken. Ptolomäus ging von dem Grundsatze aus, daß sich die Planeten in kreisförmigen Bahnen mit unveränderlicher Geschwindigkeit um die Erde bewegen, und daß letztere sich außerhalb des Mittelpunktes dieses Kreises befinde, so daß die Bewegung jedes Planeten, von der Erde aus gesehen, scheinbaren Ungleichheiten unterliegen müsse, welche desto größer sind, je bedeutender die Excentricität seines Kreises ist. Copernicus wich nur darin vom Vorigen ab, daß er die Planeten um die Sonne laufen ließ, er behielt aber die Hypothese des excentrischen Kreises bei. Kepler hingegen unterwarf alle Punkte der Planetenbewegungen einer strengen Prüfung, zeigte die Unzulänglichkeit der Hypothese des excentrischen Kreises und der gleichförmigen Bewegung, und fand: 1) Daß sich alle Planeten in Ellipsen um die Sonne bewegen, und daß sich letztere im gemeinschaftlichen Brennpunkte aller dieser Ellipsen befinde. 2) Daß die in gewissen Zeiten beschriebenen Sectoren den Zeiten proportionirt seyen. 3) Daß die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der Entfernungen im geraden Verhältnisse stehen. Durch diese Gesetze ist alles bestimmt, was auf die Bewegung der Planeten Bezug hat; man kann bei einem Planeten aus seiner Umlaufszeit auf seine Entfernung von der Sonne und umgekehrt aus dieser Entfernung auf seine Umlaufszeit schließen. Dieses ist besonders wichtig für die Bestimmungen neuer Planeten. Als Uranus ungefähr ein Jahr entdeckt war, kannte man schon aus zwei Oppositionen den Bogen, den er in der Zwischenzeit zurückgelegt hatte, und mithin die Zeit, in welcher er in mittlerer Bewegung einen Umlauf um die Sonne macht. Aus der bekannten Umlaufszeit ließ sich hierauf mittelst des dritten Kepler'schen Gesetzes seine Entfernung von der Erde berechnen. Die Planetenbahnen liegen nicht in derselben Ebene, sie schneiden die Erdbahn unter Winkeln, wovon der größte (für Ceres) über 34°, der nächstfolgende (für Juno) aber schon nur 13° beträgt. Die Durchschnittspunkte einer Planetenbahn mit der Ecliptik heißen Knoten, und zwar einer der aufsteigende, der andere der absteigende. Die Excentricitäten der Planetenbahnen sind verschieden; die größte Excentricität hat die Bahn der Juno, die kleinste jene der Venus. Auch ihre Umlaufszeiten sind ungleich und werden, dem dritten Kepler'schen Gesetze gemäß, desto größer, je weiter der Planet von der Sonne absteht.

53. Die Ordnung der Planeten, wie sie erwiesen wurde, begreift man gewöhnlich unter dem Namen des Copernicanischen Systems, und unterscheidet es von dem Ptolomäischen, nach welchem sich alle Planeten, so wie die Sonne, um die Erde bewegen nach der Ordnung: Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, und vom Tychonischen, in welchem zwar die Planeten um die Sonne gehen, aber diese sammt ihrem Gefolge um die Erde, so daß die Halbmesser der Merkur- und Venusbahn kleiner, die der übrigen Planetenbahnen größer sind, als der Halbmesser der Sonnenbahn.

Folgende Tafeln geben die vorzüglichsten Zahlenwerthe an, durch welche die Planetenbahnen und ihre jährlichen Bewegungen bezeichnet werden.

1. Entfernung der Planeten von der Sonne in deutschen Meilen und Excentricität ihrer Bahn.

Planeten.	kleinste.	größte.	mittlere.	Verhältniß der Axen der Ellipse.
Merkur . .	7412613	9751675	8082144	2 : 3
Venus . . .	14998639	15205897	15102268	75 : 76
Erde . . .	20528093	21229397	20878745	29 : 30
Mars . . .	28847290	34778294	31812792	4 : 5
Vesta . . .	44932670	53705430	49319050	5 : 6
Juno . . .	41752237	69635763	55754000	4 : 7
Ceres . . .	53235198	62318002	57776600	6 : 7
Pallas . . .	43652217	71943443	57797830	11 : 18
Jupiter . .	103361858	113825604	108593731	10 : 11
Saturn . .	187952378	210322822	199187600	19 : 21
Uranus . .	381828330	419212930	400520630	10 : 11

2. Siderische Umlaufszeit und Geschwindigkeit in 1 Secunde.

Planeten.	Umlaufszeit.	Geschwindigkeit in 1 Secunde.
Merkur	87.7969258 Tg.	6.53 Meilen.
Venus	224.700787 »	4.85 »
Erde	365.255383 »	4.12 »
Mars	686.979619 »	3.29 »
Vesta	1327.598293 »	2.73 »
Juno	1593.841740 »	2.56 »
Ceres	1681.400904 »	2.52 »
Pallas	1682.945086 »	2.52 »
Jupiter	4332.606308 »	1.78 »
Saturn	10758.969840 »	1.32 »
Uranus	30688.713687 »	0.93 »

3. Lage der elliptischen Bahnen.

Planeten.	Neigung zur Ecliptik.			Lage des Apheliums.			Länge des aufsteigenden Knotens.		
Merkur . . .	7°	0′	0″	254°	30′	14″	46°	4′	11″
Venus . . .	3	23	28	308	44	18	74	57	18
Erde	0	0	0	279	39	22	0	0	0
Mars	1	51	5	152	33	49	48	3	48
Vesta	7	7	52	270	19	0	103	10	12
Juno	13	4	27	33	16	0	171	9	50
Ceres	34	37	28	326	44	12	80	56	55
Pallas . . .	10	37	30	301	22	17	172	33	54
Jupiter . . .	1	18	51	191	17	48	98	30	4
Saturn . . .	2	29	38	269	15	11	112	1	55
Uranus . . .	0	46	26	347	29	37	72	53	35

Es folgen demnach die Planeten nach Verhältniß der Excentricität ihrer Bahn so auf einander, von dem angefangen, dessen Bahn am excentrischsten ist: Juno, Ceres, Pallas, Merkur, Mars, Vesta, Saturn, Jupiter und Uranus, Erde, Venus. Die Neigung der Bahn gegen die Ecliptik wächst in folgender Ordnung: Ceres, Juno, Pallas, Vesta, Merkur, Venus, Saturn, Mars, Jupiter, Uranus. Die aufsteigenden Knoten der Bahnen liegen in folgender Ordnung in der Ecliptik: Merkur, Mars, Uranus, Venus, Ceres, Jupiter, Vesta, Saturn, Juno, Pallas. Nach der Lage des Apheliums stehen die Planeten in folgender Ordnung: Juno, Mars, Jupiter, Merkur, Saturn, Vesta, Erde, Pallas, Venus, Ceres, Uranus.

Siebentes Kapitel.

Bewegung der Nebenplaneten und Finsternisse.

54. Unter den Nebenplaneten ist der Mond für einen Erdbewohner bei weitem der wichtigste; darum soll er auch zuerst betrachtet werden. Von der Bewegung des Mondes überzeugt man sich durch dasselbe Mittel, wodurch man die scheinbare Bewegung jedes anderen Himmelskörpers kennen lernt, nämlich durch Vergleichung seines scheinbaren Ortes mit dem eines Fixsternes. Auch diese erfolgt von West gegen Ost, in einer Bahn, deren Ebene durch die Erde geht und gegen die Ecliptik geneigt ist. Die Bahn selbst ist elliptisch und in einem Brennpunkte dieser Ellipse befindet sich die Erde so, daß sich der Mond eben so um die Erde bewegt, wie die Erde um die Sonne. Es lassen sich auf ihn alle Kepler'schen Gesetze anwenden, und die Elemente seiner Bahn sind ähnlichen, ja noch mehreren und größeren Veränderungen unterworfen, als die Elemente der Erdbahn und der übrigen Planeten. So rücken die Knoten der Mondesbahn täglich um 3′ 10″.8 von Ost nach West fort, und machen daher in 19 Jahren einen Umlauf; der Punkt seiner Erdnähe bewegt sich hingegen täglich um 6′ 40″.9 von West nach Ost, und kommt daher in ungefähr 9 Jahren einmal herum; die Neigung seiner Bahn gegen die Ecliptik ändert sich von 5° 17″ bis 5° 0′ 13″. Auch die Bewegung des Mondes weicht von der rein elliptischen Bewegung oft stark ab, und ist überhaupt sehr vielen Veränderungen unterworfen, deren einige groß sind und leicht bemerkt werden können, während sich andere nur erst bei ungemein scharfen und sehr oft wiederholten Beobachtungen zeigen.

55. Die Zeit von einer Conjunction eines Fixsternes mit dem Monde bis zur nächstfolgenden heißt siderische Umlaufszeit, siderischer Mondenmonat. Von dieser ist die periodische Umlaufszeit, d. i. die Zeit, in welcher der Mond seine Länge um 360° ändert, um so viel verschieden, als er braucht, den Bogen zu durchlaufen, um welchen die Aequinoctialpunkte in einem Monate zurückgehen. Die Zeit von einer Conjunction des Mondes mit der Sonne

bis zur nächstfolgenden heißt synodische Umlaufszeit. Sie ist wegen der eigenen Bewegung der Erde länger als die siderische. Wegen der Aenderung der Absidenlinie und der Knotenlinie des Mondes muß auch die Zeit der Zurückkunft zur Erdnähe (der anomalistische Monat) und die, nach welcher er wieder zu dem Knoten kommt (der Drachenmonat), von der siderischen Umlaufszeit verschieden seyn.

56. Unter allen diesen ist der synodische Monat, dessen Dauer 29.53059 (29 T., 12 St. ..) Tage beträgt, für das gemeine Leben am merkwürdigsten, weil er mit den Lichtgestalten (Phasen) des Mondes in Verbindung steht. Der Mond zeigt uns nämlich die ganze Scheibe beleuchtet, oder es ist Vollmond, wenn er mit der Sonne in Opposition ist. So wie er sich von da entfernt, nimmt der beleuchtete Theil ab, es ist abnehmender Mond, und beträgt zur Zeit der Quadratur nur noch die Hälfte der ganzen Scheibe. Ueber die Quadratur hinaus wird der beleuchtete Theil noch kleiner, bis zur Zeit der Conjunction die ganze Scheibe dunkel und daher Neumond ist. Von da nimmt die Größe des beleuchteten Theiles wieder zu, wie sie vorhin abgenommen hat. Dieses alles zusammengenommen, zeigt deutlich, daß die Lichtabwechslungen davon herkommen, daß der Mond uns manchmal die ganze von der Sonne beleuchtete Scheibe, manchmal nur einen Theil derselben, manchmal die unbeleuchtete Seite zukehre, wie man aus Fig. 370 abnehmen kann, wo T die Erde, S die Sonne, L den Mond bedeutet, und der nicht beleuchtete Theil des Mondes durch die Schattirung vom beleuchteten geschieden ist.

57. Die Trabanten der übrigen Planeten bewegen sich um ihre Hauptplaneten auf ähnliche Weise und nach denselben Gesetzen, wie sich der Mond um die Erde bewegt. Auch von der Erde aus gesehen, erscheinen diese Bewegungen sehr einfach. Befindet sich der Trabant in einem seiner Knoten, so scheint er um den Planeten zu oscilliren, er entfernt sich von ihm, nähert sich ihm wieder, entfernt sich nach der entgegengesetzten Seite und kehrt wieder zurück. Befindet er sich aber außer dem Knoten, so erscheint uns seine Bahn als eine mehr oder weniger excentrische Ellipse. Den Bewegungen der Trabanten ähnlich ist die des Ringes, welcher den Saturn umgibt. Alle wichtigeren Punkte der Trabantenbewegung ersieht man am besten aus folgender Tafel.

Trabanten.	Entfernung vom Hauptplaneten.	Umlaufszeit.	Neigung der Bahn.
Mond	51844 Meil.	27 T. 7 St. 43 M. 11.6 S.	5° 9′ 45″
Jupiterstrabant			
erster	58059 »	1 18 27 33	3 5 30
zweiter	92376 »	3 13 13 42	3 4 25
dritter	147347 »	7 3 42 33	3 0 30
vierter	259157 »	16 16 31 50	141 0 26
Saturntrabant			
erster	25081 »	0 22 37 30	30°
zweiter	32039 »	1 8 53 9	
dritter	39853 »	1 21 18 26	
vierter	51053 »	2 17 44 51	
fünfter	71307 »	4 12 25 11	
sechster	165302 »	15 22 41 13	
siebenter	481809 »	79 7 54 37.4	22° 42′
Ring	13865 » 19747 »	4 — 5 St.	30°
Uranustrabant			
erster	49123 »	5 21 25 20.6	nahe 90°
zweiter	64423 »	8 16 57 47.5	
dritter	74302 »	10 23 3 59	
vierter	85186 »	13 10 56 29.8	
fünfter	170383 »	38 1 48 0	
sechster	340743 »	107 16 39 56	

58. Bei der Opposition oder Conjunction des Mondes ereignen sich manchmal jene merkwürdigen Erscheinungen, die man Sonnen- und Mondesfinsternisse nennt. Eine Mondesfinsterniß ist die Folge des Eintrittes des Mondes in den Erdschatten; sie ereignet sich daher nur zur Zeit des Vollmondes und beginnt damit, daß sich die beleuchtete Mondesscheibe am östlichen Rande zu verdunkeln anfängt. Nach und nach rückt diese Verdunklung immer weiter, verbreitet sich bei sogenannten totalen Finsternissen über den ganzen Mond, bei partialen nur über ein größeres oder kleineres Stück desselben, das man nach ecliptischen Zollen angibt, wovon jeder $\frac{1}{12}$ des scheinbaren Mondesdurchmessers beträgt. Fig. 371 stellt die Erde E mit ihrem Schatten und ein Stück ab der Mondbahn vor. Läge die Mondesbahn ganz in der Ecliptik, so müßte bei jedem Vollmonde eine Mondesfinsterniß Statt finden; allein wegen der Neigung der Mondesbahn gegen die Ecliptik ereignet sich eine solche nur dann, wenn der Vollmond zu einer Zeit eintritt, wo sich der Mond in der Nähe der Knoten befindet und seine Breite geringer ist, als die Summe aus dem Halbmesser des Mondes und dem des Erdschattens da, wo der Mond ihn schneidet. Wäre z. B. (Fig. 372) AE ein Stück der Mondesbahn, AL ein Stück der Ecliptik, a der Mittelpunkt des Mondes im Augen-

blicke der Opposition, b der eines Durchschnittes des Erdschattens in der Entfernung des Mondes von der Erde, und die zu a und b gehörigen Kreise die Mondesscheibe und der Durchschnitt des Erdschattens; so ist leicht zu ersehen, daß nur dann ein Durchschneiden beider Kreise Statt haben kann, wenn die Breite des Mondes ab kleiner ist, als die Summe der Halbmesser beider Kreise. — Sonnenfinsternisse entstehen dadurch, daß der Mond zwischen die Sonne und die Erde zu stehen kommt, und finden daher nur im Neumonde Statt. Dieselbe Ursache, aus welcher sich nicht bei jedem Vollmonde eine Mondesfinsterniß ereignet, macht auch, daß nicht bei jedem Neumonde eine Sonnenfinsterniß entsteht, sondern nur dann, wenn die Breite des Mondes bei seiner Conjunction kleiner ist, als die Summe des scheinbaren Sonnen- und Mondeshalbmessers. In Fig. 373 ist E die Erde, S die Sonne, M der Mond mit seinem Schatten. — Sonnenfinsternisse sind wie die Mondesfinsternisse, entweder total oder partial, wohl auch noch ringförmig. Wenn die gerade Linie, welche vom Auge des Beobachters nach dem Mittelpunkte der Sonne gezogen wird, nicht durch den Mittelpunkt des Mondes geht, so ist für diesen Ort die Verfinsterung nur partial. Selbst wenn ersteres Statt findet, wird nicht immer die ganze Scheibe verfinstert erscheinen, sondern wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist, als jener der Sonne, so bleibt ein leuchtender Ring der Sonne unbedeckt und die Finsterniß ist ringförmig. Uebrigens sieht man leicht ein, daß auch die verschiedene Entfernung der Sonne und des Mondes vom Mittelpunkte der Erde eben so wie die Breite des Mondes einen großen Einfluß auf die Größe der Verfinsterung haben müsse, weil dadurch der scheinbare Durchmesser vergrößert oder verkleinert wird. Eine ähnliche Wirkung bringt auch die Höhe des Mondes über dem Horizonte eines Ortes hervor, woraus begreiflich wird, warum die Größe der Sonnenfinsternisse in verschiedenen Orten der Erde verschieden ist, während doch Mondesfinsternisse allenthalben gleich groß erscheinen.

Alles, was man in Betreff der Mondes- und Sonnenfinsternisse fragen kann, läßt sich genau auf weit entfernte Zeiten durch Rechnung angeben, weil die Lage der Mondbahn gegen die Ecliptik, die Bewegung des Mondes und der Sonne, ihre Entfernung von der Erde und die Größe des Erdschattens gegeben sind. Auf diese Weise findet man, daß in 18 Jahren nur 70 Finsternisse erfolgen können, worunter 29 Mond- und 41 Sonnenfinsternisse sind, daß jedes Jahr im Durchschnitte vier Finsternisse hat, und daß die Finsternisse ungefähr nach 19 Jahren wieder in derselben Ordnung zurückkehren. (Ausführliche Anleitung zur trigonometrischen Berechnung der an einem gegebenen Orte sichtbaren Sonnenfinsternisse von J. W. Müller. Sulzbach 1815. Littrow's Darstellung der Sonnenfinsternisse. Wien 1820.) — Aus der Bewegung des Mondes und der Sonne ergeben sich besondere Epochen, welche zur Bestimmung historischer Ereignisse dienlich sind. Der Zeitraum, nach welchem die Mondesphasen, z. B. der Neumond, wieder auf denselben Jahrestag fallen, heißt Mondeszirkel und beträgt 19 Jahre, weil 223 Mondesumläufe fast genau in 19 Jahren geschehen. Die Zahl, welche anzeigt, das wievielte ein gegebenes Jahr im Mondeszirkel sey, heißt goldene Zahl. Sonnenzirkel

und Mondeszirkel mit einander und mit einer dritten, nicht astronomischen Periode von 15 Jahren, welche **Inductionszirkel** oder **Römerzinszahl** heißt, multiplicirt, geben 7980 als die **julianische Periode**, nach welcher Sonntagsbuchstabe, goldene Zahl und Zinszahl wieder auf denselben Jahrestag fallen. Siehe hierüber: Anleitung zur Zeitkunde, herausgegeben von G. F. von **Vega**. Wien und Leipzig 1801.

59. Da die Planeten einen Schatten werfen, wie unsere Erde, so werden ihre Trabanten auch manchmal in denselben eintreten und verfinstert werden. Solche Finsternisse sind besonders bei den Jupiterstrabanten häufig, und werden zum Behufe der irdischen Längenbestimmungen von den Astronomen fleißig beobachtet.

Achtes Kapitel.

Die Kometen und ihre Bewegung.

60. Die Kometen erscheinen meist unerwartet und mit einem auffallenden Aeußeren. Sie bleiben nur kurze Zeit sichtbar, nähern sich dabei mit stark zunehmender Geschwindigkeit der Sonne immer mehr, so daß sie sich manchmal ganz in den Sonnenstrahlen verbergen; hierauf entfernen sie sich wieder von ihr, ihre Geschwindigkeit nimmt ab, bis sie mit freiem Auge, und zuletzt auch mit Fernröhren unsichtbar werden. Sie bestehen meistens aus einer trüben, veränderlichen Dunstmasse; wenige haben in dieser einen festen Kern, der selbst bei den meisten vielleicht noch weniger dicht ist, als unsere Atmosphäre, weil man nahe an ihm selbst sehr kleine Sterne mit ungeschwächtem Lichte sieht. Bei manchem Kometen hat die Dunstmasse eine runde Gestalt, bei den meisten aber dehnt sie sich in einer Richtung in Form eines Schweifes aus, welcher von der den Kern umgebenden Dunsthülle wesentlich verschieden seyn soll; er ist bald gerade, bald gekrümmt (Komet vom J. 1807 und 1812), bald ganz, bald in mehrere Büschel getheilt, aber meistens von der Sonne abgewendet. Diesen Schweif bekommen die Kometen wahrscheinlich erst, wenn sie sich der Sonne stark nähern, ja man hat sogar Kometen bemerkt, die das erste Mal einen Schweif hatten, bei ihrer Wiedererscheinung aber keine Spur davon merken ließen. Ihr Licht ist bald gelblich (K. vom J. 1618), bald röthlich, bald weiß (K. vom J. 1577), bald grünlich (K. vom J. 1811).

61. Die Kometen haben außer der täglichen Bewegung, die eine Folge der Axendrehung der Erde ist, auch eine eigene. Die Richtung der letzteren ist nicht, wie bei den Planeten, immer die von West nach Ost, auch selten innerhalb des Thierkreises gelegen; ja bei einigen fast auf der Erdbahn senkrecht (K. v. J. 1707). Man weiß nun mit Bestimmtheit, daß die Kometen im Allgemeinen dieselben Gesetze der Bewegung befolgen, wie die Planeten, daß sie sich wie diese um die Sonne bewegen, und sogar auch in einer Kegelschnittlinie. Allein die Beschaffenheit dieser Bahn weicht vorzüglich dadurch von der den Pla-

neten eigenen ab, daß sie, wenn sie eine Ellipse ist, eine weit größere Excentricität hat, als die der Planetenbahnen, daß sie aber auch eine Hyperbel seyn kann. Von einigen Kometen ist es erwiesen, daß sie in Ellipsen um die Sonne gehen. Man kennt ihre Umlaufszeit und kann ihr Wiedererscheinen voraussagen. So war dieses mit dem Kometen der Fall, der zuerst im Jahre 1682 von Halley beobachtet und berechnet wurde, und mit einer kleinen Verspätung wirklich erschien. Er ist seit dieser Zeit schon mehrmal beobachtet worden. Man sah ihn das letzte Mal im Jahre 1835. In der neuesten Zeit berechnete Encke einen von Pons entdeckten Kometen, der nur eine Umlaufszeit von 1208 Tagen hat und im Jahre 1822 in Süden am berechneten Orte gesehen wurde. Im Jahre 1832 hat man ihn wieder recht gut sehen können.

62. Ueber die Natur der Kometen läßt sich wenig mit Gewißheit sagen. In älteren Zeiten hielt man sie für bloße Lichterscheinungen und für Vorboten großer Unglücksfälle; heut zu Tage ist unsere Kenntniß derselben so weit gediehen, daß man mit Bestimmtheit weiß, sie seyen gleich den Planeten außer unserer Atmosphäre befindliche Weltkörper, ohne jedoch über ihre weitere Bestimmung und über das Verhältniß, in welchem sie gegen die anderen Körper unseres Sonnensystems stehen, etwas Näheres sagen zu können.

63. Daß die Kometen an Zahl die Planeten übertreffen, muß Jedem einleuchten, der weiß, daß fast jährlich einer oder mehrere gesehen werden, die sich von denen unterscheiden, welche früher schon beobachtet wurden, und daher als neue Ankömmlinge betrachtet werden müssen. Die früheren Zeiten waren auch nicht minder reich an Kometenerscheinungen, wiewohl uns wenig davon berichtet wird; aber selbst die mit der Aufmerksamkeit der Astronomen in gleichem Verhältnisse wachsende Anzahl solcher Erscheinungen rechtfertigt schon diese Annahme. Man beobachtete bis zum J. 1790 kaum 80 Kometen, und von diesen gehört die Hälfte dem letzten Jahrhunderte an; bis jetzt kennt man deren nahe 400. Wie viele mögen noch heut zu Tage vorübergehen, ohne gesehen zu werden, oder nur in südlichen Gegenden sichtbar seyn, wo sie von keinem beobachtenden Auge bemerkt werden? Auch stimmt Alles mit der Annahme überein, daß sich die Kometen nicht wie die Planeten in einer schmalen Zone bewegen, sondern gleichförmig im Raume vertheilt sind. Da nun bis jetzt beinahe 60 Kometen beobachtet wurden, welche der Sonne näher kamen als Venus, und deren gewiß eben so viele unbeobachtet vorübergegangen sind, ferner im Durchschnitte alle 500 Jahre dieselben Kometen wieder sichtbar werden, so mag der Raum zwischen der Sonne und der Venus wohl 600, mithin der zwischen der Sonne und der Bahn des Uranus wenigstens 400,000 Kometen enthalten. Wie viel mehr mögen aber noch außerhalb der Bahn des Uranus liegen? Es machen daher die Kometen wirklich den größten Theil unseres Sonnensystems aus.

Neuntes Kapitel.

Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten.

64. Die Sonne galt in frühern Zeiten, besonders bei den Anhängern der Aristotelischen Philosophie, für das Vorbild aller Reinheit, bis im Anfange des 17ten Jahrhunderts entdeckt wurde, auch sie habe dunkle Flecken. Spätere Beobachtungen haben dieses bestätigt und zur vollen Gewißheit erhoben. Diese Flecken sind verschieden an Zahl, Größe und Beschaffenheit. Manchmal erscheint die Sonnenscheibe längere Zeit hindurch ganz makellos; so z. B. hat man von 1650 bis 1670 kaum einen und von 1695 bis 1700 gar keinen Flecken beobachtet; in den Jahren 1816, 1817 u. s. w. waren sie sehr häufig. Die Menge der zugleich vorhandenen und ihre Größe ist sehr verschieden. So fand Scheiner deren auf einmal 50 und König in Mannheim 38. Herschel beobachtete 1779 einen Sonnenflecken, der schon mit freiem Auge gesehen werden konnte, und mehr als 50,000 Q. Meilen einnahm; meistens aber sind sie so klein, daß man sie nur mit Fernröhren deutlich sieht. Die Sonnenflecken haben meistens einen sehr schwarzen Mitteltheil, und um ihn eine minder dunkle, nebliche Einfassung. Indeß gibt es auch solche, welche ohne schwarzen Kern erscheinen. Einen solchen beobachtete Hevel im Jahre 1643, der fast ein Drittel des Sonnendurchmessers einnahm, und sich endlich in mehrere dunkle Flecken auflöste. Nach Schröter zeigen sich die Nebelflecke bei den stärksten Vergrößerungen streifenartig und unregelmäßig begrenzt, der Nebel verschwindet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Kerns, und oft entsteht nahe am Sonnenrande statt des Nebels ein lichter Ring; andere behalten aber den Nebel selbst am Rande. Ueberhaupt sind diese Flecken immerwährenden Aenderungen unterworfen, sie vergrößern und verkleinern, trennen und vereinigen sich, und ändern dabei Gestalt und Größe.

65. Die Sonnenflecken bewegen sich insgesammt vom östlichen Rande der Sonnenscheibe gegen den westlichen, verschwinden daselbst, wenn sie überhaupt so lange dauern und sich nicht schon auf der uns zugekehrten Scheibe auflösen, und kommen oft wieder am östlichen Rande zum Vorschein. Hieraus schließt man auf eine Axendrehung der Sonne, deren Dauer 25 T. 14 St. 8 M. beträgt.

66. Außer den dunkeln Theilen bemerkt man auf der Sonnenscheibe auch noch solche, die mehr leuchten als der übrige Theil, und Sonnenfackeln genannt werden. Herschel vergleicht sie mit den Runzeln eines welken Apfels. Viele derselben liegen einzeln und nicht scharf begrenzt auf der Sonnenscheibe, manche sind an einander gereiht, und erscheinen wie Landschaften voll Berge und Thäler; man erkennt sie aber meistens erst, wenn sie nahe am Rande der Sonne stehen.

67. Ueber die Natur der Sonnenflecken und Sonnenfackeln gibt es sehr verschiedene Meinungen. Einige halten sie gegen alle Wahrscheinlichkeit für dunkle, um die Sonne kreisende Körper, andere für

dunkle, aus Sonnenvulkanen ausgeworfene Körper, andere für ausgebrannte Stellen des Sonnenkörpers, und noch andere für Stellen, wo die leuchtende Sonnenatmosphäre durchbrochen ist, und uns einen Blick auf den dunklen Sonnenkörper verstattet. Letztere Meinung hat an Wahrscheinlichkeit gewonnen, seit Arago einen Unterschied zwischen dem von gasförmigen und dem von festen oder tropfbaren Körpern ausgehenden Lichte nachgewiesen und gezeigt hat, daß das Sonnenlicht mit dem Lichte gasförmiger Körper übereinkomme.

68. Wiewohl die scheinbare Größe der Sonne jener des Mondes beinahe gleich kommt, so ist doch ihre wahre Größe der des Mondes weit überlegen. Aus ihrer Parallaxe, die nur nahe 8″.5 beträgt, folgt, daß ihre Entfernung von der Erde nahe 21 Millionen Meilen betrage. Ihr scheinbarer Durchmesser hat 32′2″.9, und daher ihr wahrer 112.4 Erdhalbmesser, woraus folgt, daß sie an Oberfläche die Erde 12,641mal, an körperlichem Inhalte 1,421150mal übertrifft.

69. Der bekannteste der Planeten ist ohne Zweifel Venus, nämlich jener Stern, den man gewöhnlich Abendstern oder Morgenstern nennt. Beobachtet man ihn, wenn er anfängt des Abends sichtbar zu werden, so findet man, daß er sich täglich mehr von der Sonne entfernt, bis seine Entfernung 48° beträgt, dann kehrt er wieder zu ihr zurück, und verschwindet endlich ganz in den Sonnenstrahlen. Bald darauf sieht man Morgens einen ähnlichen Stern vor der Sonne aufgehen, sich von ihr immer weiter, zuletzt bis 48° entfernen, hierauf eben so wieder zu ihr zurückkehren. Es ist wohl kein Zweifel, daß dieses derselbe Stern, wie der vorhin erwähnte, sey. Der scheinbare Durchmesser der Venus ändert sich von 9″ bis 65. Ihr wahrer Durchmesser beträgt 1633 Meilen, also nur um 86 Meilen weniger, als der Durchmesser Erde. Sie erscheint sehr hell glänzend, manchmal gar so, daß man sie bei Tage sieht. Mittelst Fernröhren bemerkt man an ihr ähnliche Lichtphasen wie beim Monde, zum Beweise, daß sie, so wie dieser, ein dunkler Körper ist, der sein Licht von der Sonne bekommt. Auch Flecken sieht man an ihr und Unebenheiten von einer solchen Größe, daß sie die Berge auf der Erde weit übertreffen, aus deren periodischem Verschwinden und Wiedererscheinen schon Cassini auf eine Axendrehung von ungefähr 23½ St. schloß. Schröter fand unter diesen Bergen mehrere von 7 Meilen Höhe. Die meisten und größten befinden sich auf der südlichen Halbkugel, und bilden dort Ketten, deren einige 200 Meilen lang sind. Schröter will auch etwas einer Dämmerung Aehnliches an der Lichtgrenze bemerkt haben, und vermuthet hieraus das Daseyn einer Atmosphäre.

70. Der Planet Merkur zeigt ähnliche Bewegungen wie Venus, nur mit dem Unterschiede, daß er sich nur bis auf 28° von der Sonne entfernt. Wegen dieser geringen Entfernung ist er auch schwer zu sehen. Der scheinbare Durchmesser des Merkurs wechselt von 4″—11″.6; sein wahrer Durchmesser beträgt 580 Meilen. Er hat vorzüglich im südlichen Theile hohe Gebirge, welche die höchsten der Erde

fast dreimal übertreffen, und Züge von 40 Meilen Breite und 80 Meilen Länge bilden, einen klaren Dunstkreis und eine Axendrehung von ungefähr 24 St. Er zeigt Phasen wie der Mond.

Venus oder Merkur sieht man, nachdem sie unsichtbar geworden sind, manchmal wie schwarze Scheibchen durch die Sonnenscheibe gehen, und so gleichsam eine Sonnenfinsterniß verursachen. Dieses Ereigniß ist für den Astronomen von großer Wichtigkeit, weil es ihm Mittel verschafft, die Sonnenparallaxe kennen zu lernen. (Merkwürdigkeiten von dem Durchgange der Venus durch die Sonnenscheibe von Kohl. Greifswalde 1768.)

71. Mars hat ein feuerrothes Licht und eine sehr ungleiche Bewegung. Sein Durchmesser wächst von 3″.4 — 27″.2. Sein wahrer Durchmesser hält 963 Meilen. Er hat auf seiner Oberfläche bedeutende Flecken, wovon mehrere sich sehr schnell verändern und daher wahrscheinlich seiner Atmosphäre angehören, andere aber beständig sind, und auf eine Umdrehung von ungefähr 24 Stunden schließen lassen. Seine Pole zeigen ein glänzenderes Licht, als die anderen Theile, gerade als wenn er dort mit Eis bedeckt wäre.

72. Jupiter ist nach der Venus der glänzendste Planet. Sein scheinbarer Durchmesser beträgt 30″ — 49″: sein wahrer Durchmesser hält 18900 Meilen oder 11006 Erddurchmesser, so daß sein Volum das der Erde 1333mal übertrifft. Seine Scheibe ist an den Polen merklich abgeplattet, voll Ungleichheiten und Flecken, vorzüglich in der Gegend seines Aequators, deren periodisches Verschwinden und Erscheinen eine Axendrehung von 9 St. 56 M. anzeigt. Einige dieser Flecken ändern sogar ihren Platz auf der Scheibe des Jupiters oft innerhalb weniger Stunden, so daß man glaubt, es seyen Wolken, welche in einer unruhigen Atmosphäre durch Winde bewegt werden.

73. Saturn erscheint mit etwas blasserem Lichte als ein Fixstern der ersten Größe, unter einem Durchmesser von 15″ — 21″; sein wahrer Durchmesser beträgt 17258 Meilen. Seine Scheibe ist merklich an zwei Stellen abgeplattet, so daß der Durchmesser, welcher mit seinem Aequator 45° macht, am größten ist; allein die Abplattung ist nach Schröter nicht immer von einerlei Größe, ohne daß doch bei dieser Veränderung die Regelmäßigkeit der Gestalt leidet, so daß es scheint, als wäre der Planet von einer flüssigen Masse umgeben, die einer Art Ebbe und Fluth unterworfen ist. Er zeigt beständige und veränderliche Flecken, die eine Umlaufszeit von ungefähr 10 St. verrathen.

74. Uranus erscheint durch Fernröhre mit einem Durchmesser von 3″.5 — 4″.3 und einer merklich abgeplatteten Scheibe; sein wahrer Durchmesser beträgt 7500 Meilen.

75. Die Planeten Ceres, Pallas, Juno, Vesta erscheinen von sehr geringem Durchmesser. Der kleinste von ihnen ist Vesta; sein Durchmesser beträgt nur 58 Meilen; alle vier aber haben nach Schröter ein sehr helles blendendes Licht, und sind vielleicht selbst leuchtende Körper. Sie müssen gewaltige Atmosphären haben, weil

sie oft, besonders Ceres, von einer Art Nebel eingehüllt erscheinen, oft aber mit ganz reinem Lichte strahlen.

Vergleicht man alle bisherigen Angaben über das Eigenthümliche jedes Planeten, so findet man: daß die Planeten eine verschiedene scheinbare und wahre Größe haben, daß jeder derselben etwas abgeplattet sey, eine Bewegung um seine Axe von West nach Ost habe, und daß die Neigung der Drehungsaxe gegen die jährliche Bahn bei jedem von anderer Größe sey. Am größten erscheint uns bei der größten Annäherung an die Erde Venus, die übrigen folgen in dieser Beziehung so auf einander: Jupiter, Mars, Saturn, Merkur, Uranus, Pallas, endlich Ceres, Pallas, Juno, Vesta. In Betreff ihrer absoluten Größe stehen sie in folgender Ordnung vom größten zum kleinsten: Jupiter, Saturn, Uranus, Erde, Venus, Mars, Merkur, Pallas, Ceres und Juno, Vesta. Die größte Rotationsgeschwindigkeit oder die kürzeste tägliche Umlaufszeit hat Jupiter, hierauf folgen: Saturn, Venus, Merkur, Mars, Erde, die Rotationszeit der übrigen ist unbekannt. Die größte Abplattung hat Jupiter, die übrigen folgen so: Saturn, Uranus, Merkur, Venus, Erde, Mars. Die größte Neigung der Rotationsaxe gegen die jährliche Bahn hat Jupiter, die der übrigen nimmt in folgender Ordnung ab: Merkur, Erde, Saturn, Mars, Uranus. Für die übrigen ist diese Größe noch unbekannt.

76. Unter den Nebenplaneten kennen wir natürlich keinen so genau, als den treuen Begleiter unserer Erde, den Mond. An seiner Oberfläche bemerkt man schon mit freiem Auge ungleichartige Flecken; aber Fernröhre zeigen dieses viel deutlicher, und lehren uns viel Interessantes an ihm kennen. Man überzeugt sich, daß die leuchtenden, glänzenden Theile, die wie einzelne Punkte, Ringe oder Adern den Mondkörper völlig besetzt halten, Erhöhungen, die dunkleren aber Thäler und Vertiefungen seyen. Denn, wenn solche leuchtende Theile an die Beleuchtungsgrenze zu stehen kommen, so ragen sie aus dem Dunkel wie Funken hervor, gerade wie die Gipfel unserer Berge, welche noch Licht von der Sonne bekommen, während die Thäler schon im Dunkel liegen; am Rande erscheinen sie gar wie Zacken. Sie werfen auch einen Schatten, der sich wie bei irdischen Gegenständen mit dem Stande der Sonne ändert. Messungen haben gelehrt, daß diese Mondberge fast um $1/3$ höher sind, als die höchsten Berge unserer Erde. Auch die Gestalt der Mondberge ist interessant. Einige sind flach wie unsere niederen Bergreihen, andere steil, und stehen entweder in einzelnen Massen da oder gehen in Ketten fort, und theilen sich in Aeste. Vorzüglich häufig kommen jene Berge vor, welche wie ein kreisrunder Wall gebildet sind; diese umgeben zuweilen einen Theil der Ebene, die ihnen zur Basis dient, schließen aber auch oft Vertiefungen wie die Krater unserer Vulcane ein. Letztere sind immer vollkommen rund, nicht sehr hoch, und haben nach außen einen sanften Abhang und eine sehr große Basis. Auch ist die Tiefe des Kraters desto größer, je kleiner sein Durchmesser ist, und das Volum des Walles entspricht völlig der Vertiefung, so daß man wohl annehmen kann, solche Ringberge seyen durch vulcanische Ausbrüche entstanden, die am Monde noch jetzt Statt finden müssen, weil man schon öfters

im dunklen Theile der Scheibe plötzlich glühende Stellen bemerkt hat, und weil nicht selten nach einem wohl wahrnehmbaren Leuchten einer Stelle der dort befindliche Berg eine Aenderung zeigt. Aus einigen Wällen ragt in der Mitte ein neuer Berg hervor. Die Ebenen und Thäler im Monde erkennt man aus ihrem aschfarbenen Lichte. Sie sind nicht unbedeutend und so wie auf der Erde von Hügeln und Bergen durchschnitten. Man hielt diese Flecken ehemals für Meere, allein davon ist man zurückgekommen, weil man bemerkte, daß sie kein ganz gleichförmiges Licht haben, wie es beim Wasser der Fall seyn müßte. Etwas dem Wasser Aehnliches kann man am Monde gar nicht wahrnehmen. Man hat eigene Karten, welche die Mondesfläche darstellen.

77. Wenn der Mond eine Atmosphäre hat, so muß sie aus einem sehr feinen Stoffe bestehen; ganz kann man sie ihm nicht absprechen, weil sich bei Sonnenfinsternissen etwas wie ein grauer Nebel um den Mondkörper zeigt, und weil kurz vor und nach dem Neumonde etwas unserer Dämmerung Aehnliches an den Hörnern des erleuchteten Theils des Mondes erscheint. Man will in dieser Atmosphäre sogar ein, unseren Wolken ähnliches, nur vielmal schwächeres Phänomen entdeckt haben. (Schröter's selenotopographische Fragmente. Göttingen 1791.)

78. Der Mond muß sich in derselben Zeit, in welcher er synodisch um die Erde geht, um seine Axe bewegen, denn sonst könnte er uns nicht immer dieselbe Seite zukehren. Wenn uns auch periodisch manchmal kleine Theile seiner entgegengesetzten Scheibe sichtbar werden, so kommt dieses auf Rechnung der Gleichförmigkeit seiner Axendrehung und der Ungleichförmigkeit seiner Bewegung um die Erde, der Neigung seiner Bahn gegen die Ecliptik und seiner Axe gegen seine Bahn, und daher, daß wir uns nicht im Mittelpunkte der Erde, sondern auf ihrer Oberfläche befinden.

79. Der wahre Durchmesser des Mondes beträgt 480 geographische Meilen, mithin seine Oberfläche 727,600 Quadratmeilen oder $^{8}/_{100}$ von der Erde, und sein Volum $58^{1}/_{2}$ Millionen Kubikmeilen, mithin 50mal weniger als das der Erde. Seine Entfernung von der Erde hat 51,800 Meilen.

Aus allem bisher vom Monde Gesagten wird man leicht die Frage beantworten können, wie es daselbst mit dem Wechsel des Lichtes und der damit in Verbindung stehenden Wärme aussehe. Die Sonne befindet sich nie nördlich oder südlich vom Mondäquator. Die Bewohner des Aequators dieses Himmelskörpers haben die Sonne beständig im Zenith, die unter den Polen beständig im Horizonte. Der Tag im Mond fällt mit dem synodischen Mondenmonat von $29^{1}/_{2}$ Erdtagen zusammen, und jeder Ort hat die Sonne 15 Tage ununterbrochen über, 15 Tage unter dem Horizonte und fast immer ist Tag und Nacht gleich. Eben so sehen die Mondbewohner die Sterne nur alle $29^{1}/_{2}$ Tage einmal auf- und untergehen, aber die Erde scheint ihnen fast unbeweglich zu stehen, und nur kleinen Schwankungen unterworfen zu seyn. In der Mitte der uns zugekehrten Seite steht sie beständig im Zenith. Am Rande des Mondes sieht man die Erde immer im Horizonte, in den mittleren Punkten in einer Höhe, die weniger als 90°

beträgt. Die Bewohner der von uns abgewendeten Mondscheibe bekommen die Erde nie zu sehen, wenn sie nicht auf die andere Seite Reisen unternehmen. Dafür ist auch das Schauspiel, das ihnen die Erde darbietet, desto prächtiger. Sie erscheint fast viermal größer im Durchmesser als uns der Mond, nimmt alle Lichtgestalten vom ersten Schimmer des Neumondes bis zum Glanze des Vollmondes an, zeigt sich dem Beobachter in 24 Stunden von allen Seiten, und schon mit unseren unbewaffneten Augen würde man daselbst eine Erdkarte entwerfen können; ja mit unseren Fernröhren würde man auf dem Monde nicht bloß unsere Gebirgszüge, sondern sogar einzelne Erhöhungen, Städte und Thürme, den Lauf der großen Flüsse, ja sogar den Zug einer Armee beobachten können.

80. Die physische Beschaffenheit der übrigen Nebenplaneten ist uns völlig unbekannt. Weil sie bei ihrer ungemein großen Entfernung doch nur sehr klein sind, so zeigen sie selbst durch die besten Fernröhre keine begrenzten Flecken, und man kann auf das Daseyn von Unebenheiten auf denselben nur aus der veränderlichen Stärke ihres Lichtes schließen. Am Saturnringe allein erkennt man, wenn er eine günstige Lage hat, durch gute Fernröhre mehrere helle und dunkle Stellen, die auf bedeutende Unebenheiten schließen lassen.

Zehntes Kapitel.

Ursache der Planetenbewegungen.

81. Die große Uebereinstimmung in der Bewegung aller Körper des Sonnensystems läßt schließen, daß sie alle durch Kräfte hervorgebracht werden, die nach denselben Gesetzen wirken; ja man kann schon deßhalb die Vermuthung wagen, daß es nur eine einzige Kraft sey, deren Wirksamkeit durch die Entfernung der Planeten modificirt wird. Zur vollen Gewißheit wird diese Vermuthung erst, wenn man die Erscheinungen der Planetenbewegung nach mathematischen Principien beurtheilt. Da die Planeten krumme Bahnen beschreiben, so muß durch ihre Bewegung ein Bestreben entstehen, sich vom Mittelpunkte der Bahn zu entfernen; weil dieses aber nicht geschieht, so muß auch eine andere Kraft da seyn, welche der Fliehkraft entgegenwirkt und ihre Wirkung aufhebt. Weil die Planeten sich so bewegen, daß die um die Sonne beschriebenen Sectoren den Zeiten, in welchen sie beschrieben werden, proportionirt sind; so muß ihre Bewegung eine Centralbewegung seyn, und die Centripetalkraft muß in der Sonne ihren Sitz haben. Weil die Bahnen der Planeten Ellipsen sind, in deren einem Focus sich die Sonne befindet, so muß, wie man streng beweisen kann, die Centripetalkraft abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Weil die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der halben, großen Axen der Planetenbahnen proportionirt sind, so ist die Centripetalkraft der Sonne für alle Planeten von derselben Natur, und wird bloß durch die Entfernung modificirt. Ja diese Kraft muß sich auf jedes materielle Theilchen eines Planeten erstrecken,

weil sonst der Erfolg der Centripetalkraft auch von der Masse der Planeten abhängen müßte, und das gerade genannte Kepler'sche Gesetz nicht Statt finden könnte. Dieses alles zusammengenommen zeigt, daß alle Planeten in ihren Bahnen durch eine Anziehungskraft erhalten werden, welche in der Sonne ihren Sitz hat, auf alle materielle Theile mit gleicher Stärke wirkt, und so abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst.

82. Da sich die Nebenplaneten nach denselben Gesetzen um die Hauptplaneten bewegen, wie diese um die Sonne, indem sie um ihre Hauptplaneten Ellipsen beschreiben, den Zeiten proportionirte Sectoren zurücklegen, und, wo deren mehrere einen Hauptplaneten begleiten, wie bei Jupiter, Saturn und Uranus, auch die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der Entfernungen proportionirt sind; so muß auch von den Hauptplaneten eine Kraft ausgehen, welche dieselben Gesetze befolgt, wie die Centralkraft der Sonne. Wiewohl diese Schlüsse nur für Planeten gelten, welche Trabanten haben, so läßt sich schon der Analogie nach schließen, daß auch die trabantenlosen Planeten von diesem Gesetze keine Ausnahme machen werden, ja die runde Gestalt derselben ist allein schon hinreichend, uns davon zu überzeugen, indem diese nur bei einem Bestreben aller materiellen Theile nach einem gemeinschaftlichen Mittelpunkte Statt finden kann.

83. Da nun die Intensität der Centripetalkraft der Sonne und der Hauptplaneten ganz allein von der Entfernung abhängt; so muß sich die Anziehung, welche in der Sonne ihren Sitz hat, nicht bloß auf die Planeten, sondern auch auf ihre Trabanten und auf die Kometen erstrecken, und die Anziehung der Hauptplaneten muß auch bis zur Sonne reichen, so daß man sagen kann, diese Anziehung ist wechselseitig; jeder Körper zieht alle anderen an, jeder wird von allen anderen angezogen, und die Anziehung ist eine allgemeine Eigenschaft der Materie, muß daher mit der Menge derselben zunehmen. Der allgemeinste Ausdruck des Anziehungsgesetzes ist also $p \cdot \frac{M}{D^2}$, wo M die anziehende Masse bezeichnet, D die Entfernung, in welcher sie auf einen Körper wirkt, und p die Anziehung der Masse $= 1$, in der Entfernnng $= 1$, so wie in I. 97, als Lehnsatz angenommen wurde.

84. Die Leichtigkeit, mit der man aus diesem Gesetze die Phänomene der irdischen Schwere erklärt, läßt schon vermuthen, daß die Anziehungskraft der Himmelssphäre mit der Schwere einerlei sey. Der Umstand, daß dieses Gesetz die Wirkung eines Körpers von seiner Masse abhängig macht, bringt diese Vermuthung fast zur Gewißheit, aber unwiderleglich thut es folgende Betrachtung dar: Da sich der Mond fast in einem Kreise um die Erde bewegt, so gibt der Quersinus des beschriebenen Bogens die Größe des Weges an, um den er sich in einer Zeiteinheit durch Wirkung der Centripetalkraft der Erde nähern würde, wenn er nicht durch die Tangentialkraft seitwärts abgelenkt würde. Dieser Quersinus läßt sich aus der Beobachtung des in

einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens finden. Sucht man hierauf den Weg, um den sich der Mond in einer Zeiteinheit der Erde nähert, wenn die irdische Schwere sich bis zu ihm erstreckt, nach der Voraussetzung, daß sie abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst; so findet man mit den nöthigen Correctionen genau dieselben Resultate, wie durch das vorige Verfahren, zum Beweise, daß die Centripetalkraft der Erde, die den Mond erhält, eigentlich die Schwere der Erde sey. Man kann daher wohl allgemein die der Materie eigene Anziehung Gravitation nennen, und an ihr das unsichtbare Band erkennen, welches die Körperwelt zusammenhält, welches den wohlthätigen Lauf der Himmelskörper und den unbeachteten Fall eines Stäubchens nach denselben Gesetzen regiert.

85. Eine nothwendige Folge dieses Gesetzes ist, daß sich nicht bloß die Planeten um die Sonne bewegen, sondern daß sich das ganze Planetensystem sammt der Sonne um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt (Centrum der anziehenden Kräfte) dreht, der aber noch innerhalb des Sonnenkörpers liegt, weil die Sonne alle Planeten zusammengenommen an Masse weit übertrifft; die Sonne hat daher nur wegen ihrer größeren Masse, nicht aber wegen einer physikalischen Eigenschaft, die Macht, die Planeten um sich herumzuführen. Könnte die Masse irgend eines Planeten so sehr vermehrt werden, daß sie die der Sonne und der übrigen Planeten überträfe, so würde dieser die Sonne ihrer Würde entsetzen, und sie mit den übrigen Planeten um sich herumführen. Ja gibt es unter dem Heere der Sterne einen, dessen Masse die Summe der Massen der Sonne und der Planeten übertrifft; so muß das ganze Planetensystem sammt der Sonne auf ähnliche Weise um ihn herumgehen, wie sich z. B. Jupiter sammt seinen vier Trabanten um die Sonne bewegt.

86. Eine andere Folge des allgemeinen Gravitationsgesetzes ist, daß die Planeten selbst auf einander einwirken und sich in ihren rein elliptischen Bewegungen stören; ja selbst die Sonne muß einige Schwankungen erleiden, die aber wegen der geringen Masse der Planeten gegen die der Sonne sehr unbedeutend sind. Genaue und lang genug fortgesetzte Beobachtungen zeigen diese Störungen, welche die Astronomen Perturbationen nennen, genau so, wie sie die nach dem Gesetze der Gravitation gemachten Rechnungen angeben; sie lehren, daß die Planeten nach ihrer verschiedenen Lage gegen einander auch verschieden auf einander einwirken, bald rückwärts, bald vorwärts, bald zur Sonne hin, bald von ihr weggezogen werden, und daß ihre Geschwindigkeit dadurch bald vermehrt, bald vermindert wird. Hiermit weicht der Ort, den ein Planet in seiner Bahn wirklich einnimmt, von dem ab, welchen er ohne Störungen nach der rein elliptischen Bewegung einnehmen würde, und selbst alle Elemente der Ellipsen erleiden dadurch Veränderungen, sie werden bald enger, bald weiter, schieben sich um den Brennpunkt, den die Sonne einnimmt, herum, und nur die Länge der großen Axe bleibt unverändert. Auf diese Weise erweitert sich z. B. die Erdbahn beständig seit Jahrtausenden, modi-

ficirt dadurch den Erfolg der Einwirkung der Sonne auf den die Erde begleitenden Mond so, daß seine Geschwindigkeit stets, wenn auch nur ungemein wenig zunimmt, und eben daher kommt es auch, daß die Schiefe der Ecliptik seit ungefähr 4000 Jahren abnimmt. Es ist wohl begreiflich, daß unter allen Einwirkungen, welche die Erde erleidet, die der Sonne wegen ihrer großen Masse und die des Mondes wegen seiner Nähe am bedeutendsten seyn müssen. Für sie wird sogar die Gestalt der Erde einen Einfluß auf die Größe und Beschaffenheit der Störungen haben, weil ihre Entfernung von der Erde nicht so groß ist, daß man die Erde als Punkt ansehen könnte, und sie auch keine Kugel ist, bei der man die ganze Masse in einem Punkte vereinigt annehmen kann. Genaue, nach dem Gravitationsgesetze angestellte Rechnungen lehren auch, daß durch diese Einwirkung auf die an den Polen abgeplatte Erde das Vorrücken der Aequinoctialpunkte und das Schwanken der Erdaxe hervorgebracht werde. Solche Rechnungen geben nicht bloß das Daseyn gewisser Bewegungen, sondern auch ihre Größe an; durch sie hat man die Periode vieler Bewegungen früher kennen gelernt, als man sie aus Beobachtungen abnehmen konnte, ja auf manche Phänomene ist man früher durch Resultate des Calculs aufmerksam gemacht worden, als sie durch Beobachtungen erkannt wurden, und in allen Fällen hat sich das Gravitationsgesetz als vollkommen richtig bewährt.

87. Aus dem Gesetze der Gravitation kann man auch die Masse, das absolute Gewicht und die Dichte jedes Planeten, so wie den Raum berechnen, den auf ihm ein Körper im freien Falle in der ersten Secunde zurücklegt. Diese Berechnung gründet sich auf Folgendes: Da die Anziehung jedem einzelnen materiellen Theilchen eigen ist, so muß sie mit der Masse des anziehenden Körpers zunehmen; andererseits kann man aber die Anziehung durch den Quersinus des Bogens schätzen, der in einer Zeiteinheit zurückgelegt wird, und welcher desto größer ist, je schneller die Bewegung vor sich geht, oder je kleiner bei derselben Entfernung die Umlaufszeit ist. Vergleicht man daher die Bahnen, welche in gleichen Zeiten um zwei Centralkörper zurückgelegt werden, so gibt ihr verkehrtes Verhältniß das der Massen der Centralkörper. Auf diese Weise hat man das Verhältniß der Sonnenmasse zur Masse jedes Planeten bestimmt, der von Trabanten umgeben ist. Die Massen der Planeten, welche keine Trabanten haben, muß man aus den Perturbationen, die sie an der Erdbahn anrichten, abnehmen. Auf diesem Wege hat man die Masse des Mars und der Venus kennen gelernt und sich überzeugt, daß die Masse des Merkurs nur sehr klein sey, weil seine Störungen gar nicht merklich sind, wiewohl man die wahre Größe derselben nicht genau zu bestimmen im Stande war. Indeß nimmt man sie so an, wie sie sich aus der Voraussetzung ergibt, daß die Dichte der Planeten im verkehrten Verhältnisse mit ihrer mittleren Entfernung von der Sonne stehe. Aus der Masse, verglichen mit dem Volum, erkennt man die Dichte der Himmelskörper, so wie den Fallraum in der ersten Secunde, wie folgende Tafel zeigt.

	Masse.	Mittlere Dichte.	Fallraum eines frei fallenden Körpers in der ersten Secunde.
Sonne	329630	0,236	398,44 F.
Merkur	0.162721	2,398	12,63
Venus	0.924269	1,01	14,95
Erde	1.000000	1,00	15,1
Mars	0.129453	0,66	5,81
Vesta	0.000078	1,2	0,73
Juno	0.004078	0,53	2,13
Ceres	0.007559	0,16	2,85
Pallas	0.002815	0,94	0,64
Jupiter	308.9406	0,21	40,3
Saturn	93.75218	0,095	14,04
Uranus	16.90062	0,185	12,7

88. Durch die hier betrachtete Gravitation bekommen die Himmelskörper ein Bestreben, sich der Sonne zu nähern. Zur Erklärung ihrer jährlichen Bewegungen ist aber noch eine zweite momentan wirkende Kraft, die Tangentialkraft nothwendig. Nimmt man an, daß ein Planet durch was immer für eine Ursache einen nicht durch seinen Mittelpunkt gehenden Stoß erhalten habe; so hat er dadurch die zur Centralbewegung nöthige Tangentialbewegung und zugleich seine Axendrehung erlangt. Der Parallelismus seiner Axe während der jährlichen Bewegung folgt unmittelbar aus der Trägheit der Materie. (I. 259.)

Eilftes Kapitel.

Fixsterne. Größe des Weltalls.

89. Bei weitem der größte Theil der sichtbaren Sterne besteht aus Fixsternen. Um sie nur einigermaßen zu übersehen, hat man den ganzen Himmel gleichsam in Bezirke eingetheilt, die in jedem einzelnen vorkommenden Sterne Constellation oder Sternbild genannt, und jedes mit einem besonderen Namen bezeichnet, von dem sich aber durchaus nicht auf die Gestalt, der die Constellation ähnlich ist, schließen läßt. Man lernt sie kennen, durch Sternkarten, Himmelsgloben, noch leichter aber durch Burja's Abbildungen, wo jedes Sternbild auf starkem Papier verzeichnet ist, in dem die Sterne durch runde Löcher vorgestellt werden. Es gibt 106 Sternbilder, wovon 45 der nördlichen und 61 der südlichen Halbkugel angehören. (Eine nähere Beschreibung der Sternbilder findet man in Voigt's Lehrbuch der populären Sternkunde. Weimar 1799. S. 72—190. Bode's Anleitung zur Kenntniß des gestirnten Himmels. Berlin 1820. Neuer Himmelsatlas von Harding. Göttingen 1809. Atlas des gestirnten Himmels von J. J. v. Littrow. Stuttgart 1839.)

90. Der erste Blick auf den gestirnten Himmel lehrt schon, daß nicht alle Fixsterne gleich stark glänzen, und daß einige derselben vorzugsweise stark leuchten, andere hingegen ein so schwaches Licht haben, daß man sie nur in sehr heiteren Nächten sieht. Die glänzendsten Sterne heißt man Sterne der ersten Größe, die nächstfolgenden Sterne der zweiten Größe u. s. f. Mit freiem Auge sieht man nur die Sterne der ersten 6 Größen. Sterne der ersten Größe gibt es nach Einigen 20, nach Andern nur 12, Sterne der zweiten Größe 50 — 60, der dritten Größe 200 ꝛc. Die glänzendsten darunter sind Sirius im großen Hunde und Kanopus im Schiffe. Das Licht des ersteren ist nach Herschel 324mal stärker als das eines Sternes der sechsten Größe. Die Anzahl der Sterne der folgenden Classen wächst mit der Zahl der Classen sehr rasch. Die ersten sechs Classen enthalten schon 5000, und die ersten eilf Classen nach Lalande 50,000 Sterne; die Sternenmenge der folgenden Classen ist unzählbar.

91. Die Entfernung der Fixsterne von der Erde ist so groß, daß sie nicht bloß von verschiedenen Punkten der Erde, sondern sogar von jedem Punkte der Erdbahn aus an derselben Stelle des Himmels erscheinen, und daher sowohl der Durchmesser der Erde als jener der Erdbahn gegen ihre Entfernung verschwindet. Aenderte sich der Platz eines Sternes am Himmel für zwei einander gerade gegenüberstehende Stellen der Erdbahn, d. h. ihre doppelte jährliche Parallaxe nur um 2″, wäre mithin diese Parallaxe selbst nur 1″; so betrüge seine Entfernung schon $\frac{1}{\sin 1''} = 206264$ Halbmesser der Erdbahn (Erdweiten), oder 672000 Millionen Meilen, ein Raum, den eine Kanonenkugel einer Geschwindigkeit von 1000 Fuß für eine Secunde erst in 2.896000 Jahren zurücklegen würde; aber ein solcher Winkel würde bei der großen Vollkommenheit der astronomischen Meßinstrumente den Astronomen nicht entgangen seyn, und man muß demnach die Entfernung des nächsten Fixsternes über diese Grenze hinaus versetzen.

92. Die Größe der Fixsterne läßt sich eben so wenig genau bestimmen, als ihre Entfernung, weil dazu die Kenntniß ihres scheinbaren Durchmessers gehört, die uns gänzlich fehlt. Herschel will den scheinbaren Durchmesser der Wega 1/3″, des Aldebaran 1 1/2″, der Capella 2 1/2″ gefunden haben. Ist dieses richtig, so müssen die Halbmesser dieser Sterne 7, 30, 50 Millionen Meilen betragen, und daher unter Voraussetzung ihrer Kugelgestalt die Sonne an körperlichem Inhalte 46656, 4173281 und 19465109mal übertreffen.

93. Nicht minder Erstaunen erregend ist die Anzahl der Fixsterne. Herschel konnte in der Gegend der Keule Orions in einem Streifen von 15° Länge und 2° Breite 50000 Sterne deutlich erkennen. Da dieser Streif der 1375ste Theil der Himmelssphäre ist, so müßte die ganze Oberfläche des Himmels 68755000 Sterne enthalten, wenn man annähme, daß sie überall eben so dicht beisammen stehen. Allein sie stehen an vielen Stellen noch viel dichter, und man kann ohne Uebertreibung annehmen, daß jede Quadratminute wenigstens

einen Stern enthalte, und daher die Gesammtzahl der sichtbaren Sterne 148507200 sey. Allein dieses sind nur die nächsten Sterne, von den weiter entfernten erkennt man nicht mehr als einen matten Schimmer; wie viele mögen aber bei der nur sehr unvollkommenen Durchsichtigkeit der Luft ganz unsichtbar seyn? Das unbewaffnete Auge sieht selbst in der heitersten Nacht nur den kleinsten Theil jener Sterne, welche man mittelst eines Fernrohrs sieht, und da selbst die raumdurchdringende Kraft dieser Instrumente beschränkt ist, so können auch sie nur wieder die näheren Sterne sichtbar machen.

94. Die Sterne stehen am dichtesten in der sogenannten Milchstraße, welche den ganzen Sternenhimmel als eine Zone von ungleicher Breite, die sich an einigen Stellen in zwei Zonen theilt, fast in der Richtung eines größten Kreises umfaßt. Ihr milchiger Schimmer kommt von dem verworrenen Lichte einer zahllosen Menge von Sternen her; an den beiden Polen dieses Gürtels ist der Himmel am wenigsten mit Sternen besetzt, je mehr man sich aber davon entfernt, desto dichter erscheinen sie. Höchst wahrscheinlich bilden die Sterne der Milchstraße ein eigenes Sternensystem, dessen Mittelpunkt nahe an unserem Sonnensysteme liegt, ein System, wie es deren mehrere, ja unzählige gibt. Man sieht nämlich an vielen Stellen des Himmels lichte Stellen, deren einige sich nur durch vorzügliche Fernröhre in einzelne Sterne auflösen lassen, und wieder andere, über welche selbst die besten Fernröhre nichts vermögen, oder die sie nur wieder in nebelartige lichte Punkte auflösen. Man nennt sie Nebelflecken. Herschel hat deren über 3000 entdeckt. Auch ein solcher würde, gleich der Milchstraße, die Erde wie ein Gürtel zu umspannen scheinen, wenn diese sich innerhalb desselben und nicht weit von dessen Mittelpunkt befände, und umgekehrt würde uns die Milchstraße, wenn wir uns um 100 ihrer Durchmesser außer ihr befänden, nur wie ein Nebelfleck von 17′ erscheinen.

95. Die Fixsterne müssen leuchtende Körper, wie unsere Sonne, seyn, weil sie von einer so großen Entfernung noch gesehen werden können. Sollten aber wohl diese Millionen Sonnen nicht auch von Planeten umgeben seyn, denen sie Licht und Wärme zusenden? Man kann füglich die Vermuthungen noch weiter treiben und es für wahrscheinlich halten, daß alle diese Sonnensysteme selbst wieder eine Bewegung um einen Centralkörper haben. Dieses machen vorzüglich jene Sterne wahrscheinlich, die durch Fernröhre als zwei oder gar als mehrere Sterne erscheinen, und daher Doppelsterne oder mehrfache Sterne heißen. Man kann annehmen, daß unter je 40 Fixsternen immer wenigstens ein Doppelstern sey. Die Entfernung der zwei Sterne eines Doppelsternes scheint verschieden. Es gibt deren viele mit einer Winkelentfernung von weniger als 2″ bis über eine halbe Minute. Fast immer ist einer der zwei Sterne leuchtender als der andere, und selbst bei den mehrfachen Sternen ragt einer in der Regel an Lichtstärke weit über die anderen hervor. Von solchen Doppelsternen lehrt nun die Beobachtung, daß sich die kleineren, min-

der leuchtenden um den leuchtenderen bewegen, und ein durch Attraction verbundenes, besonderes System ausmachen. Dasselbe bemerkt man auch an den mehrfachen Sternen, wo sich eine ganze Gruppe von Sternen um einen Stern bewegt.

96. Merkwürdig sind die Veränderungen, die man an einzelnen Sternen bemerkt. Einige haben einen periodischen Lichtwechsel, so nimmt z. B. Algol innerhalb 69 Stunden an Lichtstärke ab und zu, ein Stern im Wallfische hat eine solche Periode von 332, ein anderer in der Wasserschlange eine von 494 Tagen. Man glaubt, diese Erscheinung komme von einer Axendrehung der Sterne, durch welche uns bald ein stärker, bald ein schwächer leuchtender Theil der Sternoberfläche zugewendet wird. Man hat auch schon Sterne bemerkt, die plötzlich hell leuchtend erscheinen, einige Zeit sichtbar bleiben, und dann eben so plötzlich wieder verschwinden. Von der Art war der Stern, welcher 1572 in der Cassiopea sichtbar wurde. Er erschien, übertraf bald alle andere Sterne an Lichtglanz, änderte seine Farbe öfters, und verschwand nach sechs Monaten, ohne seinen Platz am Himmel zu verändern. Jeder Fixstern hat auch eine eigene Bewegung im Raume, die aber erst nach einer langen Reihe von Jahren bemerkbar wird. Ueber die Richtung und Größe dieser Bewegung läßt sich noch nichts Sicheres behaupten.

97. Aus allem Bisherigen geht hervor, daß das unendliche Heer der Himmelskörper aus mehreren Systemen bestehe, deren Theile durch das Gesetz der gegenseitigen Anziehung zu einem Ganzen vereiniget sind. Das kleinste dieser Systeme ist das der Trabanten und ihres Hauptplaneten; das nächst größere bilden die Planetensysteme, deren einem unsere Erde angehört. Millionen solcher Planetensysteme mit ihren Sonnen bewegen sich um einen größeren Centralkörper, und bilden wieder ein höheres System; eine ungemessene Zahl solcher Systeme erkennt wieder einen anderen Centralkörper als Beherrscher, und bildet ein System, wovon unsere Milchstraße und vielleicht jeder Nebelfleck eines vorstellt, und so übersteigt der sichtbare Theil der Schöpfung schon die engen Grenzen unseres Verstandes, und doch ist er gewiß nur der Vorhof des unendlichen Tempels, dessen Größe unser Vorstellungsvermögen übersteigt. — Nähere Belehrung über diesen Abschnitt suche man außer den angeführten in folgenden Werken: *Astronomie par M. de Lalande. Paris* 1771—81. *Traité élémentaire d'astronomie physique par J. B. Biot. Paris* 1810. *Astronomie théorique et pratique par M. de Lambre. Paris* 1814. Astronomie von Bohnenberger. Tübingen 1811. Theoretische und practische Astronomie von Littrow. Wien 1821. *Traité de mécanique céleste par P. S. Laplace. Paris VII. Traité d'Astronomie théorique par Schubert, Pétersbourg* 1822. Populäre Astronomie von J. Littrow. Wien 1825. Populäre Astronomie von Frankenheim. 2. Aufl. Braunschweig 1829. Vorlesungen über Astronomie von J. J. Littrow. Wien 1830.

Zweiter Abschnitt.

Physische Geographie.

Erstes Kapitel.

Beschaffenheit der Erde im Allgemeinen.

98. Was über die Gestalt und Größe der Erde bekannt ist, enthält der erste Abschnitt dieses Theiles. Es ist aber überdieß noch die Dichte des Erdkörpers als physikalische Eigenschaft desselben bemerkenswerth. Cavendish untersuchte dieselbe im Jahre 1797 mit einer der Coulomb'schen Drehwage ähnlichen Vorrichtung, indem er die Anziehung der Erde mit der einen Masse von bekannter Dichte verglich, und fand sie gleich 5.48. Dubourguet berichtigte dieses Resultat, und setzte es auf 4.5 herab. Maskelyne leitete die Dichte der Erde von der Anziehung ab, welche ein Berg in Schottland, Namens Shehallien, auf ein Bleiloth ausübte, und fand sie mittelst der von Hutton und Playfair bestimmten Masse des Berges gleich 4.71. Carlini endlich bestimmte die Einwirkung des Mont Cenis auf die Schwingungen eines Secundenpendels, und leitete daraus die Dichte 4.39 ab. Nimmt man 4.71 als wahren Werth der Dichte an, so findet man das Gewicht der ganzen Erde gleich 10345960 Trillionen Pfund. Nimmt man an, die Erde sey einmal flüssig gewesen, so folgt daraus schon von selbst, daß ihre Dichte gegen den Mittelpunkt zu immer größer wird, weil da nothwendig die leichteren Massen auf den dichteren schwimmen mußten. Diese Vermuthung wird zur Gewißheit, wenn man bedenkt, daß die Massen, welche die Erdrinde bis zu einer Tiefe von 1000 F. bilden, eine mittlere Dichte von 1.52 geben; denn neben diesem kann obiges Resultat nur bestehen, wenn die Erde gegen den Mittelpunkt an Dichte zunimmt, wie schon Newton vermuthete, und auch aus Pendelversuchen unmittelbar folgt. Selbst die vom Erdmittelpunkte gleichweit abstehenden Schichten haben nicht einerlei Dichte, sondern es gibt hierin örtliche Verschiedenheiten, weil es im Inneren der Erde viele Klüfte und Höhlen gibt, und die Substanzen, aus welchen die Erde besteht, nicht allenthalben genau in derselben Ordnung auf einander folgen. An Pendelschwingungen lassen sich diese Ungleichheiten recht wohl bemerken. Daß demnach die Erde im Inneren nicht hohl seyn könne, leuchtet von selbst ein.

99. Die Oberfläche der Erde ist größtentheils vom Meere bedeckt,

das feste Land ragt aus dem Meere in Gestalt drei sehr großer und vieler kleineren Inseln hervor. Die größte darunter erstreckt sich von 73° nördlicher bis 30° südlicher Breite, und reicht von 150°—360° der Länge, und umfaßt daher eine Ausdehnung von 103° in der Breite und von 210° in der Länge. Sie enthält Europa (phönizisch: Land der Weißen), Asien und Afrika (Sandland); die nächst kleinere Amerika, die dritte ist Australien. Man rechnet auf Europa 172000 Quad. Meilen, auf Asien 640000, auf Afrika 530000, auf Amerika 570000, auf Australien 140000, auf gesammte kleinere Inseln 1000000, daher hat das gesammte feste Land 3052000 Quadratmeilen, während die gesammte Erdoberfläche über 9 Mill. Quadratmeilen enthält, so daß sich demnach die Oberfläche des Landes zu der des Meeres wie 1 : 2 verhält. Von den größten Inseln der Erde, welche den Namen Welttheile führen, liegt nur Australien ganz in der südlichen Halbkugel, von den anderen hingegen befinden sich Europa ganz, Afrika und Amerika aber größtentheils in der nördlichen Halbkugel; überhaupt verhält sich in der südlichen Halbkugel die vom Meere bedeckte Fläche zum festen Lande wie 3 : 1, während dieses Verhältniß in der nördlichen nahe 3 : 2 ist, auch erstreckt sich das bekannte feste Land in der nördlichen Hemisphäre weiter gegen den Pol, als in der südlichen. Dagegen hat die südliche Erdhälfte vorzüglich viele kleine Inseln, besonders nahe am Aequator; die meisten liegen aber einander sehr nahe, so daß sie immer ganze Gruppen bilden. Dieses zeigt sich besonders an der Südseite von Asien, wo sich die Inseln Ceylon, Sumatra, Borneo, Java, Celebes, Mindanao, Neuguinea, die Molucken, die Philippinen, die Freundschafts- und die Gesellschaftsinsel befinden.

106. Der Umriß des festen Landes und des Meeres ist nicht von der Art, daß man darin etwas Regelmäßiges, an ein mathematisches Gesetz Gebundenes wahrnehmen könnte. Nur das haben alle Continente mit einander gemein, daß sie gegen Süden in eine hohe felsige Spitze auslaufen. So endiget Amerika mit dem steilen Cap Horn, Afrika mit dem felsigen Cap der guten Hoffnung, Asien mit dem Cap Komorin, und Neuholland mit dem Südostcap. Jeder dieser Spitzen ist das äußerste Ende eines plötzlich abbrechenden, nordwärts laufenden Gebirgszuges. Jeder größere Continent hat an der Ostseite seiner Südspitze mehrere Inseln, Amerika die Falklandsinsel und Staateneiland, Afrika die Insel Madagascar, Asien die Insel Ceylon und Australien die Neuseelandinseln. Die Continente der alten und neuen Welt hängen durch Landengen zusammen, Amerika durch die Landenge Panama, Asien mit Afrika durch die Landenge Suez; beide Landengen liegen in der nördlichen Halbkugel und in nicht sehr verschiedenen Breiten. Uebrigens unterscheiden sich die Hauptländermassen, die sogenannten Welttheile, durch ihre Gestalt auf eine sehr merkwürdige, mit der Entwicklung der Cultur des Menschen in Beziehung stehende Weise von einander: Asien und das damit zusammenhängende Europa dehnt sich vorzugsweise von Ost nach West, Amerika hauptsächlich von

Nord nach Süd aus, während Afrika nach allen Richtungen fast gleich ausgedehnt ist. Die Längenausdehnung Europa's und Asiens erstreckt sich von 1° — 200° östlicher Länge, jene Afrikas umfaßt nur 43°, die von Amerika etwa 120 Längengrade, während sich Asien nicht auf 90°, Europa gar nicht einmal auf 60° der Breite nach erstreckt, Amerika aber in dieser Richtung über 128°, also über ein Drittel des Erdumfanges einnimmt. Afrika hat die abgeschlossenste Gestalt und eine sehr einförmige Küstenperipherie ohne Einschnitte und Buchten, es hat im Verhältnisse seine Oberfläche nur eine kleine Berührung mit dem Ocean. Asien hat besonders an seinen Ost- und Westküsten weit vorspringende Landzungen und große Einschnitte. Es hat um ein Viertel mehr Flächeninhalt als Afrika, und eine fast doppelt so große Küstenlänge als dieses. Europa hat die mannigfaltigst gestalteten Küsten, viele Landzungen und Halbinseln, es hat viermal weniger Flächenraum, und doch mehr Küstenlänge als Afrika. Amerika endlich vereiniget in sich die Gestaltung Afrika's und Asiens. Südamerika ist am meisten mit Afrika, Nordamerika mit Asien übereinstimmend. Die Inseln zerfallen in Betreff ihrer Gestalt in langgestreckte und runde. Erstere liegen meistens reihenweise hinter einander, bilden gewissermaßen zusammengehörige Ketten, und haben im Innern meistens Bergreihen, die mit der Hauptausdehnung des Ganzen parallel laufen. Sie können als Splitter der ihnen nächsten größeren Continente angesehen werden. Die runden Inseln sind selbstständige Formationen ohne jene Bergketten, und entweder hoch über dem Meere erhoben, mit einer Haupterhöhung im Innern, oder nur wenig über die Oberfläche des Wassers hervorragend, letztere sind durchaus Werke der Korallenthiere.

Zweites Kapitel.

Gewässer der Erde.

101. Der größte Theil des Wassers, welches den Erdboden bedeckt, bildet eine große zusammenhängende Masse, das Weltmeer und nur ein kleiner Theil desselben ist über dem Festlande vertheilt, und bildet mehr oder weniger bedeutende Ansammlungen desselben, und zwar Quellen, Bäche, Flüsse, Ströme und Seen. Alles Wasser der Erde ist in einem beständigen Kreislaufe begriffen. Es wird durch die Wärme in Dünste verwandelt, steigt gegen Himmel und bildet die Wolken, fällt von diesen wieder als Regen, Schnee, Hagel rc. herab, dringt in die Erde ein, erscheint wieder auf ihrer Oberfläche, und wird zuletzt dem Meere, als dem allgemeinen Wasserbehälter, zugeführt.

102. Die Anfänge der fließenden Wässer auf der Erde bilden die Quellen. Sie entspringen vorzugsweise an höher gelegenen Orten, jedoch nicht an den höchsten Punkten der Erdoberfläche. Die Frage, woher sie ihr Wasser bekommen, hat schon die ältesten Naturforscher beschäftiget. Weil man aber durchaus wollte, daß allen Quellen die-

selbe Ursache Nahrung gebe, und dabei das, was bei einer als Erklärungsgrund hinreichte, der anderen widersprach, so kam man lange nicht ins Reine. Heut zu Tage weiß man mit Grund, daß mehrere Ursachen Quellen erzeugen, und daß sich sogar bei derselben Quelle mehrere Ursachen zugleich wirksam beweisen können. Am wirksamsten erscheint in dieser Hinsicht das aus der Atmosphäre gefallene Wasser. Dieses dringt in die Felsenritzen ein, fließt darin fort, bis es einen Widerstand findet, wird hydrostatisch gehoben, und kommt daher an Stellen zum Vorscheine, wo es die Beschaffenheit des Bodens gestattet. Man hat, um die umfassende Wirksamkeit dieser Ursache zu zeigen, die Wassermenge zu berechnen gesucht, welche aus einem Lande in einem Jahre mittelst der Flüsse weggeführt wird, sie mit derjenigen verglichen, welche jährlich aus der Atmosphäre niederfällt, und gefunden, daß letztere die erstere weit übertrifft, und daß daher, ungeachtet des für das vegetabile und thierische Leben nöthigen Bedarfes, noch eine hinreichende Menge als Rest bleibe, um alle Quellen zu speisen. So fand Mariotte, daß in der Gegend von Dijon auf eine französische Quadratmeile jährlich 238050000 Kubikfuß Wasser fallen; er verlegte die Quelle der Seine 60 Meilen oberhalb Paris, und nahm an, daß sie auf eine Breite von 50 Meilen das atmosphärische Wasser aufnehme. Hierdurch würde sie jährlich 714150 Millionen Kubikfuß Wasser erhalten. Er fand aber, daß kaum $^1/_6$ davon durch die Königsbrücke zu Paris fließe, und daß, wenn auch vom obigen atmosphärischen Wasser $^1/_3$ wieder verdünstet und eben so viel für Pflanzen und Thiere verbraucht wird, doch noch $^1/_3$ zur Unterhaltung der Quellen und Flüsse übrig bleibe, welches mehr als hinreichend ist. Wenn auch gegen diese Berechnung nicht ungegründete Einwürfe gemacht werden können, wie sie denn auch wirklich gemacht worden sind; so ergibt sich doch aus anderen, sicheren Versuchen Dalton's, daß das Regen- und Schneewasser wenigstens dreimal das an Menge übertrifft, welches durch die Flüsse ins Meer geführt wird. Auch durchgesinterte und zum Theile durch Druck, zum Theile durch Capillarität gehobene Meerwasser kann einigen Quellen Nahrung geben; allein Quellen dieser Art müssen sich durch ihr salziges Wasser von den anderen unterscheiden, weil das Meerwasser durch bloßes Aufsteigen, sey es auch durch die feinsten Spalten und Ritzen, von den chemisch damit vereinigten Stoffen nicht befreit werden kann; auch können solche Quellen nicht hoch über dem Meeresspiegel liegen. Weil sich im Inneren der Erde viele ausgebreitete Wasserbehälter befinden müssen, so ist es auch denkbar, daß die durch Beschaffenheit der Erde oder durch locale Ursachen bewirkte Erwärmung das Wasser zum Verdünsten bringe; die Dünste steigen in die Höhe, gehen durch Erkaltung wieder in tropfbaren Zustand über, und kommen in solchem zum Vorscheine. Es kann auch der Fall eintreten, daß das in der Erde vorhandene Wasser durch die Kraft eines expansiblen Körpers herausgetrieben wird, und so nicht nur eine Quelle überhaupt, sondern sogar einen völligen Springbrunnen bildet.

103. Die verschiedenen Quellen unterscheiden sich von einander durch die Menge, Beschaffenheit und Temperatur ihres Wassers und durch ihre Beständigkeit oder ihren Wechsel. Einige Quellen fließen ununterbrochen, und man bemerkt durchaus keine regelmäßige Ab- und Zunahme ihres Wassers; dieses ist besonders bei den gebohrten (artesischen) Springquellen der Fall, deren Wasserbehälter sehr tief liegt und von dem atmosphärischen Einflusse nur wenig afficirt wird. Die meisten Quellen erleiden aber durch den Einfluß der Witterung und der Jahreszeiten Aenderungen ihres Wasserreichthums. Quellen, welche bloß vom Nebel und Regen gespeiset werden, nehmen in heißen Sommern allmälig ab, und treten mit dem Beginne der feuchten und regnerischen Jahreszeit wieder mit erneuerter Kraft ein; jene, welche ihr Wasser dem geschmolzenen Schnee der Gebirge verdanken, haben wieder im Sommer, wo der Schnee schmilzt, den meisten Zufluß. Einige Quellen fließen nur einige Zeit und versiegen zu einer anderen gänzlich. In diese Classe gehören die sogenannten Hungerquellen oder Theuerbrunnen, die nur bei anhaltender Dürre oder in sehr regnerischen Jahren fließen. Andere haben noch kürzere Perioden ihres Fließens und Aussetzens. Zwei Quellen bei Wallis in Graubündten, die nur ungefähr 25 Schritte von einander entfernt sind, fließen nur vom Anfange April bis in den Herbst; eine andere im Canton Bern, der sogenannte Engstlerbrunnen, fließt von der Mitte Mai bis in die Mitte August, allein nur von 4 Uhr Nachmittags bis etwa 8 Uhr Morgens. Solche Quellen heißen Frühlingsbrunnen und haben in dem, während der warmen Monate, geschmolzenen Schnee ihren Grund. Quellen, die wie der Engstlerbrunnen einen täglichen Wechsel zeigen, gibt es mehrere. So soll in Peru auf dem Berge Piro eine Quelle seyn, die nur Nachts lauft, wenn es nicht zuvor geregnet hat. Eine Quelle bei Fontestorbe in den Pyrenäen soll in den Sommermonaten 36½ Minuten fließen, dann 32½ Minuten aussetzen, und nur eintretender Regen soll einen ununterbrochenen Fluß bewirken. Eine andere bei Nismes gibt in 20 Stunden zweimal Wasser, sie fließt 7 Stunden lang und setzt dann durch 3 Stunden aus. Das Wasser der Quelle in Plinius Landhause bei Como nimmt des Tages dreimal ab und zu. Dieses periodische Fließen hat wahrscheinlich darin seinen Grund, daß sich im Innern der Erde ein Wasserbehälter befindet, der mittelst eines gekrümmten Hebers mit dem Ausflußorte der Quelle in Verbindung steht, wo dann natürlich die Heberwirkung nicht eher beginnen kann, als bis das Wasser im Bassin so hoch steht, daß der Heber gefüllt ist, sobald aber dieses geschieht, läuft es ganz aus. Die berühmtesten periodisch fließenden Quellen hat Island an seinen Springquellen aufzuweisen. Aber die große Anzahl aller hier vorkommenden wird vom sogenannten Geiser übertroffen, der sich zwei Tagreisen vom Hekla befindet. Es ist hier eine natürliche Röhre von 19 Fuß im Durchmesser und von unbekannter Tiefe, über welcher sich das Wasser ein Becken gemacht hat, dessen oberer Rand 9 Fuß hoch ist, und 56 Fuß im Durchmesser hat. Durch

diese Röhre springt das Wasser siedend heiß verschiedene Male des Tages auf eine Höhe von 90 Fuß, und führt oft Steine mit sich auf eine bedeutende Höhe. Daß hier vulcanische Wirkung im Spiele sey, erleidet wohl keinen Zweifel. Manche Quellen erleiden Veränderungen, welche mit dem Gange der Witterung in Verbindung stehen, und heißen deßhalb **wetterlaunige Quellen**. Einige verursachen ein Geräusch bei schlechtem Wetter. Von der Art ist der Polterbrunnen in Paderborn, der Tambour in Auvergne. Die Ursache des Rauschens liegt im Freiwerden der im Wasser enthaltenen Luft, welches beim Hervortreten in die Atmosphäre geschieht. Andere Quellen werden bei drohendem Regenwetter trübe; dieses kommt wohl daher, daß dem Regen meistens eine Verminderung des Luftdruckes vorhergeht, welche ein Austreten der in oder unter dem Wasser enthaltenen Luft, und mithin ein Aufrühren des Bodensatzes bewirkt.

104. Die **Temperatur** der meisten Quellen stimmt in der Regel mit der mittleren des Ortes überein, wo sie entspringen, nur in geringen Breiten ist sie etwas niederer als die des Ortes, in großen Breiten hingegen wieder etwas höher. Es gibt aber doch Quellen, deren Temperatur von der Wärme der Luft unabhängig ist. Bei einigen ist sie stets geringer als die Lufttemperatur, bei anderen größer. Auf dem Berge Pila in Frankreich befindet sich Wasser, welches das ganze Jahr hindurch so kalt ist, daß man es nicht trinken kann; eine ähnliche Wassersammlung befindet sich auf dem Berge Genevre. Medevi am Wettersee in Schweden hält unveränderlich eine Wärme von $6^{1}/_{2}°$. Uebrigens versteht es sich von selbst, daß eine Quelle, die eine beständige Temperatur hat, welche der mittleren Wärme der Luft gleich ist, im Sommer kälter, im Winter wärmer erscheint als die Luft. Quellen, welche wärmer sind als die Luft, gibt es in ziemlicher Menge. Sie werden meistens als Bäder zur Heilung körperlicher Gebrechen angewendet, erhalten ihre Wärme durch örtliche Ursachen, und sind in der Regel Eigenthum vulcanischer Gegenden. Die vorzüglichsten heißen Quellen sind die in Island, zu Karlsbad, Aachen, Mehadia, Baden bei Wien, Gastein im Salzburgischen, Abano bei Padua, Plombiers in Lothringen, Barege und Bagneres in den Pyrenäen, Aix in Savoyen, Bath in England, Mehadia in Ungarn. Die Temperatur warmer Quellen ist verschieden. Einige sind nur lau, eine Quelle zu Abano bei Padua hat 79° R., eine bei Oelve auf Island 80°, der Sprudel in Karlsbad 55°, die Quelle zu Bath 45°, die heißeste von Aachen 40°, von Barege $38^{3}/_{4}°$, in Gastein 38°, in Plombieres 30°.4 — 53°.6. Einige dieser Quellen haben, so weit unsere Wärmemessungen reichen, immer dieselbe Temperatur gehabt, die sie jetzt haben; andere sind von ihrem Wärmegrade sehr abgewichen, besonders zur Zeit vulcanischer Ereignisse. Vor ungefähr 30 Jahren verminderte sich die Wärme einer der Karlsbader Quellen bei einer Erderschütterung bedeutend, kehrte aber nach einiger Zeit mit der vorigen Kraft wieder zurück; die Quelle zu Bagneres erlitt durch eine ähnliche Erscheinung eine Temperaturerhöhung.

105. Da das Wasser in der Erde, bevor es einen Ausgang findet, durch Gebirgsmassen fließen muß, welche mancherlei auflösliche Stoffe enthalten; so muß es mit verschiedenen Substanzen geschwängert hervortreten. Am reinsten ist das Quellwasser, welches aus Granit- oder Sandgebirgen hervorkommt, ohne jedoch so rein zu seyn, wie das Regenwasser. Dasjenige hingegen, welches durch Kalkgebirge oder Gipslager fließt, nimmt von diesen Substanzen mehr oder weniger auf, bekommt dadurch einen eigenthümlichen Geschmack und wird hart. Wasser, das sehr viele mineralische Bestandtheile enthält, heißt **Mineralwasser**. Wiewohl das meiste Quellwasser einen Antheil kohlensaurer Luft mit sich führt, so gibt es doch einiges, das vorzüglich viel davon enthält, dadurch einen säuerlichen Geschmack annimmt, und deßhalb **Sauerbrunnen** heißt. Solche Wässer enthalten auch immer einen solchen Bestandtheil, der sich mit der kohlensauren Luft verbindet, so daß darin nebst anderen, auch kohlensaure Salze vorkommen. Bei vielen sind dieses kohlensaure Alkalien, wie z. B. bei den Brunnen zu Eger, Teplitz, Pyrmont, Bilin, Marienbrunn; nicht selten kohlensaures Eisen, wie z. B. Bilin, Selters, Spaa, Johannesbrunn ꝛc. Einige Wasser enthalten vorzüglich viel Kochsalz, wie die unzähligen sogenannten Salzquellen, oder andere salzsaure Salze, wie z. B. bei Erfurt, Wiesbaden; andere enthalten Bittersalz (schwefelsaure Bittererde) aufgelöst, wie z. B. das Seidschützer, Sedlitzer; andere Glaubersalz, wie das Pilnaer Wasser in Böhmen; andere verbreiten ringsum einen schwefeligen Geruch von enthaltener Schwefelleber (Schwefelkali), wie z. B. das Badnerwasser, der Stinkbrunnen zu Marienbrunn, das Aachener- und Weilbacherbad. Seifenartige Wasser befinden sich bei Plombiers; solche, die schwefelsaures Kupfer enthalten, bei Neusohl in Ungarn, bei Altenburg im Erzgebirge, bei Fahlun in Schweden. Sie verwandeln scheinbar Eisen in Kupfer, weil sich das Eisen in der Schwefelsäure des Wassers auflöset und dafür das Kupfer zurückbleibt. Die Kalk- und Kieselsinter führenden und meistens heiße Wässer haben die Eigenschaft, hineingelegte Sachen mit einer Rinde zu überziehen und gleichsam zu versteinern. Von der Art ist besonders das Karlsbader Wasser, das bei Tours und bei Tivoli. Merkwürdig ist in dieser Hinsicht die Quelle von Quanca velica, 30 Meilen von Lima in Südamerika. Diese breitet sich über das nächste Land aus, und verhärtet selbst zu einem gelblichen Steine, den man von jeder beliebigen Form haben und dann zum Baue verwenden kann, wenn man dienliche Formen mit diesem Wasser füllt und sie einige Zeit ruhig stehen läßt.

106. Daß aus der Erde hervorquellendes Wasser häufig solche Stoffe mechanisch mit sich fortreißen müsse, die es nicht chemisch aufzulösen vermag, ist wohl begreiflich. Solche Substanzen setzen sich aber, nachdem das Wasser in Ruhe gekommen, von selbst wieder ab, während man zur Bestimmung der chemisch vereinigten besonders feiner chemischer Kunstgriffe bedarf. Unter allen solchen mechanisch mit dem Wasser gemengten Stoffen sind die brennbaren am merkwürdig-

sten, welche unter dem Namen Steinöhl und Naphta bekannt sind. Die Hauptgegend, wo sich derlei Stoffe in Quellen befinden, ist unweit der persischen Stadt Baku. Sie schwimmen als specifisch leichtere Körper auf dem Wasser der Quelle, das man in eigene Behälter leitet, um sie abschöpfen und als Handelsartikel veräußern zu können. Oft entzündet sich die Naphta selbst, und dann erscheint die ganze Wasserfläche brennend; noch öfter wird sie absichtlich in Flammen gesetzt. An einigen Orten kommt sie ohne Wasser zum Vorschein, wie dieses am sogenannten Feuerorte der Fall ist, den die Perser für heilig halten. Daselbst erscheinen bei trockener Witterung starke, gelblich blaue Flammen, die man mittelst eines Fächers auslöschen kann. Die armen Bewohner der dortigen Gegend brauchen daher nur ein Rohr in den abgestampften Lehmboden ihrer Hütten zu stecken und seinem oberen Ende ein brennendes Papier zu nähern, um eine dauernde, etwa 1/2 Fuß hohe Flamme zu erhalten, die ihnen zu ihren Arbeiten Licht gibt. In China hat man eigens angelegte (gebohrte) Brunnen von 1000 bis 2000 Fuß Tiefe und 5 bis 6 Zoll Oeffnung, die Wasser mit viel Salzgehalt und zugleich brennbares Gas liefern, das man in Röhren fortleiten und zur Beleuchtung benutzen kann (Zeitsch n. F. 2. 284).

107. Das Wasser fließt von den Quellen vermöge seiner Schwere in tiefer gelegene Stellen, vereinigt sich zu Bächen und endlich zu Flüssen und Strömen, wovon sich letztere ins Meer ergießen, mithin ihren ursprünglichen Namen vom Ursprunge bis zum Ausflusse ins Meer behalten. Die Quellen der meisten Flüsse liegen in sehr hohen Gebirgen. So hat der Rhein am St. Gotthard, der Po am Viso, die Loire in den Sevennen, die Garonne in den Pyrenäen, die Tiber in den Apenninen, die Drau in den Tiroler Alpen, die Elbe im Riesengebirge die Quelle. Wenn auch einige Flüsse, wie z. B. der Don, der Tigris, der Hoangho aus Seen hervorfließen; so bekommen doch diese ihr Wasser von Quellen, und man kann den Ursprung der Flüsse aus Quellen für ein allgemeines Gesetz halten.

108. Der Weg eines Flusses verfolgt immer die niedrigsten Stellen der Erdoberfläche. Da nun diese nicht in einer geraden Linie liegen, so muß auch die Richtung seines Laufes verschieden seyn, und sein Bett muß mancherlei Krümmungen machen. Im Allgemeinen nimmt die Anzahl dieser Krümmungen gegen den Ausfluß hin zu. Ungeachtet der vielfältigen Krümmungen eines Flußbettes hat doch der größte Theil einerlei Strich, und es ist auffallend, daß bedeutende Flüsse in ihrem Laufe mehr nach Ost und West, als nach Nord und Süd gerichtet sind.

109. Die Neigung des Bettes gegen den Horizont, oder dessen Gefälle, ist bei den verschiedenen Flüssen verschieden. Der Amazonenfluß hat auf 1000 F. nur 1/27 Zoll Gefälle, die Loire 4/5 F., der Rhein zwischen Straßburg und Dortrecht 1/6, die Donau zwischen Ulm und Donauwerth 1/5. Ja selbst derselbe Fluß hat nicht an allen Stellen denselben Abhang des Bettes. Die Loire fällt an einigen Orten um einen Fuß in 1520 F., an anderen in 2490 F. In der Regel ist das Gefälle

großer Flüsse gegen den Ursprung hin am größten, gegen den Ausfluß am kleinsten. Ueberhaupt ist ein Flußbett nicht wie eine mathematische geneigte Ebene anzusehen, sondern es gibt da eben so, wie auf dem festen Lande, Anhöhen und Vertiefungen, nur ist die Summe der ersteren kleiner als jene der letzteren, und die Differenz beider Summen gibt das eigentliche Gefälle.

110. An vielen Stellen befinden sich im Flußbette Felsen, welche das daran stoßende Wasser reflectiren und Wirbel erzeugen. Von der Art ist der Donauwirbel bei Grein. Oft hat es plötzliche Absätze, über welche das Wasser mit Gewalt herabstürzt und einen Wasserfall bildet. Einer der bekanntesten Wasserfälle ist der des Staubbaches unweit Bern, der gegen 1100 F. hoch geschätzt wird, aber nur auf 900 gemessen ist. Der Reichenbach hat einen Wasserfall von 200 F., der Rheinfall bei Schaffhausen beträgt 30 F., der Fall des Velino bei Spoleto 200 F. Die zwei Cataracten zu Vrigtil unter dem Polarkreise haben vielleicht eine Höhe von 1000 F. Ein kleines Bild dieser Erscheinungen gewähren wohl auch der Wasserfall der Traun bei Lambach, der Schleier-, Kessel- und Bärnfall bei Gastein. Die im Alterthume berühmten Nilfälle sind nicht sehr ansehnlich, und der größte beträgt nur 50 F. Die größten Fälle hat Amerika aufzuweisen. Der Niagara hat eine Breite von 720 F., und stürzt in zwei Armen über eine Höhe von 137 F. herab; der Sturz des viel kleineren Flusses Bogota in Neu-Granada beträgt gar 200—300 Klafter.

111. Die Breite des Flußbettes ist so veränderlich wie die Beschaffenheit der Gegend, wodurch es geht. Oft engen es Gebirge bedeutend ein, und bewirken dadurch ein Aufsteigen des Wassers. Die größte Erscheinung dieser Art bietet der Connecticut dar, welcher durch Gebirge von der Breite von 400 Ellen auf 15 Fuß eingeengt wird. Ein ähnliches Phänomen zeigt der gewaltige Amazonenfluß an der Stelle, die Pongo de Manseriche genannt wird; in sehr vermindertem Maßstabe findet dasselbe mit der Donau vor Grein und bei Orsowa, mit der Elbe bei Leitmeritz und Außig Statt. Gegen den Ausfluß erweitert sich gewöhnlich das Flußbett bedeutend, und theilt sich auch nicht selten in mehrere Arme. Solche Arme haben der Po und die Donau 7, die Wolga 13. Jedoch ist die Anzahl dieser Arme veränderlich, weil das Wasser immer etwas Sand absetzt und dadurch sein eigenes Bett erhöht. Der Nil soll vor Zeiten 7 Mündungsarme gehabt haben, jetzt hat er deren nur zwei, die schiffbar sind. Die Verengungen des Flußbettes befinden sich in der Regel immer da, wo es von Felsenmassen durchzogen wird, die Cataracten oder Wirbel erzeugen. Schon dieser Umstand macht es wahrscheinlich, daß die Flüsse an solchen Stellen die Gebirge durchbrochen und sich mit Gewalt einen Weg gebahnt haben. Hierin wird man noch mehr bestärkt, wenn man sieht, daß die Gegenden oberhalb solcher Stromengen auffallende Spuren von Ueberschwemmungen durch süßes Wasser an sich tragen, wie sich dieses an vielen Stellen nachweisen läßt. Einige Flüsse haben noch jetzt ganze Gebirge im Wege, aber letztere bieten ihnen Oeffnungen dar, an deren gehöri-

ger Erweiterung das Wasser gewiß das Seinige gethan hat, und in welche sie sich nun ergießen können, so daß ihr Lauf eine Strecke hindurch unterirdisch ist, und dann wieder zu Tage erscheint. Hierher gehört die natürliche Brücke in Virginien, welche über den Cedernfluß führt, und gleichsam nur ein Bogen eines eingestürzten Kalkgewölbes ist; ein ähnliches Phänomen sieht man an den sogenannten Oefen der Salzach bei Golling. Krain bietet mehrere sehr interessante Fälle dieser Art dar. Das Bett der Rhone ist bei der sogenannten Porte du Rhone auf 60 Schritt weit durch ein Felsenstück bedeckt; der asiatische Ganges stürzt sich auch in einen Felsen, und kommt eine Strecke davon wieder zum Vorschein. Einige Flüsse verlieren sich im Sande, wie dieses mit einem Arme des Guadalquivir in Spanien und des Rheins in Holland der Fall ist; andere nehmen gar in Morästen ein Ende, ohne wieder zum Vorschein zu kommen. Wahrscheinlich geht da das zu sehr ausgebreitete Wasser durch Verdünstung verloren oder gelangt in einen unterirdischen Abfluß.

112. Die Wassermenge, welche ein Fluß führt, ist in der Regel desto größer, je länger sein Lauf ist, und je mehr Nebenflüsse oder Bäche er aufnimmt. Unter allen Flüssen der Welt sind die amerikanischen die größten, und unter diesen zeichnet sich der Missuri, der Amazonenfluß, der St. Lorenzfluß, der Laplata, der Mississippi und Orinoco vorzüglich aus. Die größten Flüsse Asiens sind: Der Indus, Ganges, Kiangho (blauer Fluß), der Hoangho (gelber Fluß), Amur, Jenisey, Ob. Die größten afrikanischen sind der Nil, Niger, Senegal, Gambia. Unter den europäischen Flüssen ist die Wolga der größte. Ueberhaupt sind die diesem Welttheile angehörigen im Verhältnisse zu den Flüssen der anderen Welttheile nur sehr klein, ja der einzige Laplata soll so viel Wasser führen, als alle europäischen Flüsse zusammen. Die Wassermenge eines Flusses ist nicht immer gleich groß. Durch das Schmelzen des Schnees oder durch häufige Regengüsse schwellen die Flüsse an, treten manchmal sogar über ihr Bett hinaus und überschwemmen das Land. Dieses ist besonders bei solchen Flüssen der Fall, in die sich viele Nebenflüsse ergießen. Am merkwürdigsten sind aber jene Ueberschwemmungen, die immer zu bestimmten Zeiten eintreten, und von denen oft die Fruchtbarkeit des Bodens abhängt, wie beim Nil. Dieser hat immer vom December bis März das niedrigste Wasser, vom März bis Juni wächst er beständig fort, und nimmt hierauf eben so wieder ab, wie er anwuchs. Die Ursache dieser periodischen Erscheinung liegt in den Regengüssen, welche auf dem Mondgebirge und im abessinischen Hochlande, wo die Quellen des Nils liegen, vom April bis September dauern. Aehnliche, wenn auch nicht so segenreiche Ueberschwemmungen verursacht auch der Ganges, der Euphrat, der Indus, der Mississippi und Laplata.

113. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in Flüssen fortschreitet, hängt hauptsächlich vom Gefälle ab, und ist in dieser Hinsicht wie die Bewegung über eine schiefe Ebene zu betrachten. Allein die Geschwindigkeit nimmt nicht beständig zu, wie dieses bei

einer ununterbrochenen schiefen Ebene der Fall ist, weil auch das Flußbett dem Laufe des Wassers viele Hindernisse in den Weg setzt, die Neigung deßhalb an vielen Stellen Unterbrechungen erleidet, viele die Geschwindigkeit hemmende Serpentinen vorhanden sind, und sich oft ein anderer Fluß einmündet, dessen Richtung mit jener des Hauptflusses einen zu großen Winkel macht. Indeß nimmt doch die Geschwindigkeit solcher Flüsse, die eine ziemliche Strecke gerade fortlaufen, wie dieses bei den amerikanischen fast durchaus, und bei den europäischen nahe am Ausflusse der Fall ist, mit dem durchlaufenen Wege zu. Das Wasser hat auch nicht in allen Theilen eines Querschnittes dieselbe Geschwindigkeit. Ohne alle Hindernisse der Bewegung würde die Geschwindigkeit mit der Tiefe zunehmen, und ein Fluß müßte am Boden die größte Geschwindigkeit haben, allein wegen der Ungleichheit des Bodens befindet sich die größte Geschwindigkeit immer nahe an der Oberfläche. Eben so ist die Geschwindigkeit an verschiedenen Punkten der Breite verschieden, woran wohl die Hindernisse, welche die Ufer dem Flusse in den Weg setzen, den größten Antheil haben. Man nennt den Ort, wo die Geschwindigkeit am größten ist, den Stromstrich. Dieser befindet sich bei geraden Ufern meistens in der Mitte, bei gekrümmten ist er aber dem hohlen Ufer am nächsten. Da bei einem Flusse, der weder im Anschwellen, noch Abnehmen begriffen ist, durch jeden Querschnitt gleich viel Wasser fließen muß, wenn sich nicht inzwischen ein anderes Gewässer in ihn ergießt; so muß seine mittlere Geschwindigkeit desto größer seyn, je enger das Flußbett ist. Daher hat der Connecticut dort, wo er durch Felsen sehr eingeengt wird, eine solche Geschwindigkeit, daß er die schwersten Metalle mit sich fortreißt, ohne sie untergehen zu lassen, und daß man selbst mit Gewalt kein Brecheisen ins Wasser stoßen kann; aus diesem Grunde vermehren Brücken, Wehren, Separationswerke u. s. w. die Geschwindigkeit der Flüsse so sehr. Die schnellsten Flüsse des Erdbodens sind die Donau, der Indus, der Tigris und der Amazonenfluß. Erstere hat im unteren Theile ihres Laufes 5 F., letzterer gar 7 F. Geschwindigkeit. Um sich die große Geschwindigkeit der Donau erklären zu können, muß man ihren langen Lauf von 250 Meilen in Betrachtung ziehen und bedenken, daß sie, ungeachtet ihre Quelle nicht hoch liegt, doch viele an hohen Orten entspringende Flüsse aufnimmt, wie z. B. den Inn, die Drau u. d. m.

114. Die Oberfläche des Wassers eines Flusses ist nicht eben, sondern convex oder hohl. Ersteres findet bei Flüssen Statt, die in der Strombahn bedeutend schneller fließen, als in den übrigen Theilen; letzteres bemerkt man beim Auslaufe der Flüsse ins Meer, wenn die Meeresfluth in ihr Gebiet eindringt; denn da vermindert sie die Geschwindigkeit des Wassers außerhalb des Stromstriches weniger als im Stromstriche, und macht, daß jenes höher steht als dieses.

115. Das Flußwasser ist so wenig rein als irgend ein Quellwasser, jedoch gibt es keinen Fluß, der ein mineralisches Wasser führt, wenn man einige kleine Bäche im russischen Reiche und ein Paar Flüsse

in Nordafrika ausnimmt, die Kochsalz führen, und wovon einige so salzig sind, daß ihr Wasser gar nicht getrunken werden kann. Die Bestandtheile, welche das Wasser mit sich führt, kommen vom Boden des Flußbettes her, werden bei einem schnellen Laufe zum Theile mechanisch mit fortgerissen und bei geringer Geschwindigkeit wieder abgesetzt. Von solchen Theilen hat dann auch das Wasser seine Farbe. Das hellste Wasser führt der Euphrat, Ganges und die Themse, der Nil hat ein weißes Wasser, wenn er nicht hoch steht, der Hoangho in China ist gelb; nach Humboldt gibt es in Amerika einige kaffehbraune Flüsse. Manche Flüsse führen Gold in ihrem Sande, wie z. B. der Po, die Aar, die Phasis in Asien, und besonders die Flüsse in Guinea.

116. Es wäre sehr interessant, die Wassermenge zu kennen, welche alle Flüsse zusammen ins Meer tragen. Um diese zu finden, müßte man die mittlere Geschwindigkeit und den Durchschnitt jedes Flusses genau kennen, was aber jetzt bei weitem noch nicht der Fall ist. Um genäherte Resultate zu erhalten, setzt man diese Wassermenge den Stromgebieten proportional, d. i. dem Flächeninhalte der Gegend, die ihnen Wasser zusendet. Diese findet man 250mal größer als die des Rheins, von dem man aus Messungen weiß, daß im Mittel durch seinen Querschnitt am Niederrhein jährlich 0,1959 Kubikmeilen Wasser fließen. Hierdurch erhält man für die Wassermenge aller Flüsse den genäherten Werth von ungefähr 49 K. Meilen, welche man wegen häufigem Anschwellen der Flüsse wohl auf 75 erhöhen kann.

Die Erfahrung lehrt die Stromgebiete in geogr. Meilen, wie folgt:

Amazonenfluß	88,305	Don	6,088
Plata	71,665	Weichsel	3,578
Lorenzstrom	62,330	Duero	1,638
Mississippi	53,636	Tago	1,357
Ob	63,776	Seine	1,236
Jenisei	47,001	Loire	2,378
Lena	36,483	Garonne	1,443
Amur	53,559	Po	1,410
Hoangho	33,686	Trent	0,439
Ganges	23,224	Donau	4,412
Wolga	30,154	Rhein	3,598
Nil	32,620	Weser	0,874
Senegal	25,614	Elbe	2,800
Dwina	5,890	Oder	2,072

117. Wenn das Wasser wegen der zu tiefen örtlichen Lage nicht abfließen kann, so bildet es einen See oder Sumpf. Ersteres findet dann Statt, wenn das Wasser eine beträchtliche Ausdehnung und eine so große Tiefe hat, daß Wasserpflanzen die Ebene der Oberfläche nicht zu häufig unterbrechen; letzteres hingegen, wenn die Oberfläche größtentheils durch Gewächse, die am Boden wachsen, unterbrochen ist.

118. Das Entstehen eines Sees kann man sich auf mannigfaltige Art erklären, und die Richtigkeit dieser Erklärungsarten an verschiedenen Wassersammlungen nachweisen. Entsteht eine Quelle von

hinlänglichem Wasserreichthume, und die durch einen starken Druck herausgetrieben wird, in einer kesselförmigen Vertiefung; so muß das Wasser den Kessel so weit ausfüllen, bis es einen Abfluß findet, oder bis die Oberfläche so weit vergrößert wird, daß durch Verdünstung so viel Wasser verloren geht, als die Quelle zuführt. Solche Seen gibt es in vielen Gebirgsgegenden und aus ihnen kommen oft die namhaftesten Flüsse hervor. Der See Iwan, aus dem der Don entspringt, und viele Seen in Amerika sind von dieser Art. Es kann auch geschehen, daß ein Fluß in einer Gegend in eine ähnliche kesselförmige Vertiefung kommt, wo er sich ausbreiten und so eine örtliche, einen kleinen See vorstellende Erweiterung seines Bettes erleiden muß, oder daß er in seinem Laufe auf Hindernisse geräth, die eine Anschwellung des Wassers, und dadurch einen See erzeugen. Hier kann das Wasser, wenn es eine große Höhe erreicht hat, wieder abfließen, so daß es den Anschein hat, als wenn der Fluß durch den von ihm unabhängig existirenden See ginge, oder es kann die Wassermasse so viel an Oberfläche gewinnen, daß der Verlust durch Verdünstung und der Zufluß durch den Strom sich das Gleichgewicht halten. Im ersten Falle hat der See Zufluß und Abfluß, im zweiten Falle nimmt er auf sichtbarem Wege Wasser auf, hat aber keinen bemerkbaren Abfluß. In die Reihe ersterer Seen gehört der Genfersee, durch den die Rhone fließt, der Kostnitzer See, den der Rhein durchströmt, im österreichischen Salzkammergute der Trau- und Hallstädtersee. Nordamerika hat deren sehr viele aufzuweisen. In die zweite zählt man den ungeheuren See, der gewöhnlich das caspische Meer genannt wird, den Aralsee, das todte Meer u. s. f. Ersterer nimmt die Wolga, den Jaik und Emba, letzteres den Jordan auf, ohne einen sichtbaren Abfluß zu haben. Ueberdieß können auch noch Ueberschwemmungen, Erdfälle und vulcanische Ausbrüche Seen erzeugen. Ostfriesland hat noch jetzt einen unterirdischen See, der mit einer festen Erdrinde überzogen ist. Stürzt diese ein, so ist die Anzahl der Seen wieder um einen vermehrt. In Calabrien entstanden beim Erdbeben im Jahre 1753 über 100 Seen. Der See Averno bei Puzzuolo verdankt einem eingestürzten Vulcane sein Entstehen.

119. Die Seen sind auf der Erde verschieden vertheilt, jedoch kommen in gemäßigten und kalten Gegenden mehr vor, als in heißen, wahrscheinlich weil daselbst die Verdünstung durch die höhere Temperatur so sehr begünstigt wird, daß ihr ein Zufluß aus Quellen oder Flüssen nicht so leicht das Gleichgewicht halten kann. Es ist kaum zu bezweifeln, daß die Seen ehemals in einer größeren Anzahl vorhanden waren, als jetzt. So scheint Böhmen ein ausgetrockneter Seegrund zu seyn. Nach Herodot war ganz Thessalien ein von Bergen umschlossenes Gewässer. Das Verschwinden der Seen kommt wahrscheinlich auf Rechnung der Gebirgsdurchbrüche, durch welche sich das Wasser einen Ablauf bildete.

120. Die Größe und Gestalt der Seen ist sehr mannigfaltig. Der caspische See ist einer der größten auf der Erde. Sein Flächen-

inhalt beträgt 5000—6000 Quadratmeilen. Von großer Ausdehnung ist auch der Baikal- und Aralsee in Asien, der Wenner- und Wettersee in Schweden, der Ladoga- und Onegasee in Rußland. Bei den meisten Seen ist eine Dimension gegen die andere vorwaltend, besonders bei denen, welche in Gebirgsgegenden vorkommen. Die im flachen Lande nähern sich mehr der Kreisform.

121. Einige Seen haben eine ungeheure Tiefe. So findet man im Wettersee an einigen Stellen bei 300 Klafter keinen Grund. Der schottländische See Tay ist tiefer als 600 Klafter, und der Genfersee hat an der savoischen Seite ziemlich nahe am Ufer 800—900 F. Tiefe. Indeß ist die Tiefe eines Sees eben so wenig unveränderlich als die eines Flusses. Gebirgsseen nehmen zur Regenzeit bedeutend zu. Einige entleeren sich gar periodisch, und füllen sich dann wieder, wie dieses beim Cirknitzersee in Krain der Fall ist. Solche Phänomene lassen sich ganz genügend aus einer Heberwirkung erklären, die dann beginnt, wenn die in der Erde befindlichen, den Heber vertretenden Höhlen so weit mit Wasser erfüllt sind, daß es die Abflußöffnungen erreicht.

122. Das Seewasser ist nicht rein, sondern enthält die mannigfaltigsten chemisch aufgelösten und mechanisch beigemengten Stoffe. Einige, wiewohl die wenigsten Seen führen eine bedeutende Menge aufgelöstes Kochsalz, wie z. B. der caspische See, und viele im nördlichen Asien. Einige Seen in Ungarn führen Natrum. Das sogenannte todte Meer enthält, außer einer sehr bedeutenden Menge Kochsalz, auch noch insbesondere das sogenannte Judenpech. Dieses steigt vom Boden des Sees in die Höhe, nachdem Rauchsäulen und übelriechende Ausdünstungen seine Ankunft verkündigt haben, welche große vulcanische Thätigkeit vermuthen lassen.

123. Sümpfe und Moräste entstehen nur da, wo die Beschaffenheit des Bodens und der Zufluß nicht so beschaffen ist, daß sich ein See bilden könnte, und doch das Wasser nicht ablaufen kann. Die meisten Sümpfe hat Afrika aufzuweisen. Moräste gibt es im nördlichen Europa in großer Menge und Ausdehnung. An vielen Stellen zieht man daraus Bäume hervor und gewinnt Torf.

124. Das Weltmeer ist die ungeheure Wassersammlung, welche ein unter sich zusammenhängendes Ganzes ausmacht und das feste Land von allen Seiten umgibt. Es dringt vielfältig in das feste Land ein und bildet Arme, die man Meerbusen nennt, wohl auch große Binnenmeere, hat in seinen Theilen verschiedene Benennungen, welche von angrenzenden Ländern, von ihrer Lage gegen die Weltgegenden, wohl auch von minder wesentlichen Merkmalen hergenommen sind, und überhaupt viel Willkürliches an sich haben. Die vorzüglichsten Theile des Weltmeeres sind: 1) Das atlantische Meer, zwischen Europa und Nordamerika bis zum nördlichen Polarkreise; 2) das äthiopische Meer, zwischen Afrika und Südamerika; 3) das indische Meer, zwischen den beiden Halbinseln Indien und der Ostküste Afrika's; 4) das stille Meer von der östlichen Grenze des indischen Meeres bis zur Westküste von Amerika; 5) das nördliche Eismeer, vom Nordpole

bis an die Nordküsten von Europa, Asien und Amerika; 6) das südliche Eismeer, vom Südpole bis zum äthiopischen, indischen und stillen Meere. Die vorzüglichsten Meerbusen sind das mittelländische Meer, das selbst wieder als besondere Meerbusen, das adriatische und schwarze Meer bildet, die Ostsee, das weiße Meer, das rothe Meer (arabischer Meerbusen), der persische Meerbusen, die Meerbusen von Bengalen und Siam, von Cochinchina und Kamtschatka (Ochotzker Meer) und von Californien, der mexicanische Meerbusen, die Baffins- und Hudsonsbai rc.

125. Die Seiten des Meeresbeckens, welche man insgemein Küsten nennt, erheben sich an vielen Orten weit über die Fläche des Meeres und fallen steil gegen das Wasser ab, an anderen sind sie nicht viel höher als der Wasserstand. Hohe, schroffe, felsige Küsten sind meistens dort, wo das Meer tief und sehr stürmisch ist, sie sind aber wahrscheinlich durch das Meer selbst erzeugt, indem das Land so lange weggeschwemmt und untergraben wurde, bis Felsen dem weiteren Vordringen ein Ende machten. Die höchste bekannte Küste der Erde ist die an der Westseite von St. Kilda, einer der hebridischen Inseln; ihre Höhe beträgt gegen 600 F. über die Meeresfläche. Die norwegischen Ufer sind auch fast durchgängig steil und hoch. Zu den niedrigsten Küsten gehören jene von Holland, die eigentlich durch Kunst dem Meere abgewonnen wurden, und beinahe niedriger als das Wasser sind. Niedrige Ufer haben oft in der Nähe lange, über den Wasserstand hervorragende Sandhügel, welche durch das Meer oder durch Flüsse angeschwemmt wurden und Dünen heißen. Durch allmälige Vergrößerung schließen sie sich an die Küsten unmittelbar an, und werden zu einem eigentlichen Gestade. Von diesen muß aber der sogenannte Strand unterschieden werden, d. i. derjenige Theil des Meerufers, der nur bei niedrigem Wasser aus demselben hervorragt, bei hohem aber von demselben überdeckt wird, und den landenden Schiffen große Gefahr bringt. Ein Strand kann durch günstige Umstände zu einer Düne und endlich gar zu festem Gestade werden.

126. Der Meeresboden ist im Ganzen wenig bekannt. Es läßt sich aber ohne weitere Untersuchung einsehen, daß er so wie das feste Land Erhöhungen, Thäler und Ebenen hat. Die meisten Inseln liegen in dem Zuge, in welchem die Gebirgskette eines nahen festen Landes liegt, zum Beweise, daß diese Ketten selbst unter dem Meere fortlaufen. Auch das Gestein, welches die Küsten bildet, findet man gewöhnlich noch eine ziemliche Strecke weit vom Lande, so daß man wohl annehmen kann, die Bestandtheile des festen Landes seyen mit denen des Meeresbodens im Allgemeinen übereinstimmend. Ungeachtet dieser Uebereinstimmung der Bestandtheile des Meeresbodens und des festen Landes, hat ersterer doch einiges Eigenthümliche. Dahin gehören die in einigen Gegenden des Meeres, besonders in der Südsee, so häufigen Korallenbänke. Diese erheben sich vom Grunde des Meeres zu einer solchen Höhe, daß sie oft nahe an den Wasserspiegel reichen und

unzähligen Inseln zur Unterlage dienen, oft aber vom Wasser bedeckt bleiben und die Schifffahrt ungemein gefährlich machen.

127. Von den Erhöhungen und Vertiefungen des Meeresbodens hängt die Tiefe des Meeres ab. Man hat bis jetzt wenige genaue Resultate über diesen Punkt, weil seine Untersuchung zu schwierig ist. Das sicherste Mittel, die Tiefe zu messen, ist ohne Zweifel ein an einer langen Schnur hängender Körper von Blei; allein dieses läßt sich nur bei geringen Tiefen anwenden, weil bei großer Tiefe das Blei durch die Schnur, welche specifisch leichter ist als das Wasser, getragen wird und daher nicht bis auf den Boden hinabsinkt. Deßhalb bedient man sich zur Erforschung bedeutender Tiefen, sogenannter Bathometer. Das brauchbarste Instrument dieser Art gab Hook an. Es besteht aus zwei an einander gehängten Körpern, wovon der eine specifisch schwerer, der andere specifisch leichter ist als Wasser. Läßt man sie ins Wasser, so macht sich der leichtere alsogleich vom schwereren los, sobald er den Meeresboden erreicht hat, und steigt in die Höhe, so daß man aus der Zeit, welche verfloß vom Augenblicke des Untersinkens bis zum Emportauchen, die Tiefe berechnen kann. Die Tiefe wechselt von einigen Ellen bis zu mehreren hundert Schuhen. Die größte gemessene Tiefe soll 1200 Klafter betragen. In der Regel nimmt die Tiefe zu, wie man sich vom festen Lande entfernt, und zwar desto schneller, je steiler die Küsten aufsteigen. Sehr steile Küsten haben selbst zunächst an sich so große Tiefen, daß Schiffe nicht ankern können, während ihnen flache Ufer wegen zu großer Seichtigkeit keine Annäherung gestatten. Merkwürdig ist der schnelle Wechsel der Tiefe in Gegenden, wo sich Korallen- oder Sandbänke befinden. Als Beispiel des letzteren Falles mögen die großen Sandbänke in Neufoundland dienen, wovon die größte 80 Seemeilen lang, 20 breit ist, und 40 Klafter unter Wasser steht, so, daß die Schiffe ohne Gefahr darüber segeln können, zu beiden Seiten aber ist das Meer unergründlich tief.

128. Die Farbe des Meerwassers ist gewöhnlich grünlich, ins Blaue spielend; jedoch können der verschiedene Zustand der Luft, die Beschaffenheit des durchscheinenden Bodens, beigemischte organische Stoffe die Farbe verschieden modificiren. An den westindischen Inseln ist das Wasser so durchsichtig, daß man auf dem mit weißem, reinen Sande bedeckten Grunde jeden kleinen Gegenstand bemerkt, und ein Fahrzeug in diesem Gewässer wie in der Luft zu hängen scheint. Von besonderer Klarheit soll das Wasser im arabischen Meerbusen seyn; im rothen Meere erscheint es wegen der häufigen Korallen röthlich. Bei stürmischem Wetter erscheint das Meer weiß; vor der Mündung des Plataſtromes hat man es oft roth gefunden und Gewürme als die Ursache dieser Färbung angesehen. An der westlichen Seite Afrika's, zwischen 20—34° nördlicher Breite und um Florida, ist das Meer wie eine Wiese, grün gefärbt, weil es von organischen Stoffen ganz überzogen wird.

129. Eine für die Seefahrer sehr interessante Erscheinung ist das Leuchten des Meeres. Oft läßt nämlich ein Schiff so, wie es das

Wasser durchschnitten hat, leuchtende Furchen hinter sich, manchmal bemerkt man aber nur da Licht, wo die Wellen zusammenschlagen; oft erscheint eine bedeutende Strecke wie mit unzähligen Sternen bedeckt. Es ist als ausgemacht anzusehen, daß dieses Phänomen durch kleine Thiere (Medusen, Salpen, Beroen, Physalien, Physsophoren, Rizophysen rc.) hervorgebracht werde, die vorzüglich im Leben, aber auch noch im Tode phosphoresciren, besonders wenn dieses durch Reibung und Wärme begünstiget wird.

130. Das Meerwasser hat einen bitteren und salzigen Geschmack, und bekommt leicht, wenn es in Ruhe steht, einen üblen Geruch; ersterer kommt von den in demselben aufgelösten Salzen (salzsaurer, schwefelsaurer und kohlensaurer Bittererde, kohlensaurem Kalk, Kochsalz) her. Die Salzigkeit des Meerwassers ist in verschiedenen Meeren und in verschiedenen Längen- und Breitengraden verschieden. Das Wasser des atlantischen Meeres ist salziger als jenes der Südsee, und der indische Ocean ist gegen den atlantischen Ocean hin salzreicher als gegen die Südsee zu. Im atlantischen Meere ist die Salzigkeit am westlichen Theile größer als am östlichen; die Südsee scheint aber in allen Längengraden einerlei Salzigkeit zu haben. In den großen Oceanen gibt es sowohl am nördlichen als südlichen Theile ein Maximum der Salzigkeit. Das nördliche steht weiter vom Aequator ab, als das südliche. Der verschiedene Salzgehalt des Meerwassers ist Ursache seiner verschiedenen Dichte, die man durchschnittlich mit 1.02 angibt. An Stellen, wo das Meer tiefer ist, und welche von den Küsten entfernter sind, ist auch das Wasser salzreicher; Meerbusen, die mit dem großen Oceane nur durch schmale Canäle zusammenhängen, sind ärmer an Salz, als der weite Ocean; das mittelländische Meer ist allein der stärkeren Verdünstung wegen daran reicher. Große, sich ins Meer ergießende Ströme, vermindern die Salzigkeit desselben, und äußern diesen ihren Einfluß oft meilenweit von der Mündung. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) ist der Salzgehalt des Meeres vom Aequator bis 45° Breite in allen Tiefen innerhalb 1000 Klaftern derselbe. Der Salzgehalt des Meeres, zu dessen Erklärung viele, zum Theile sehr sonderbare Hypothesen aufgestellt worden sind, kommt demselben ohne Zweifel ursprünglich zu, und die Salzlager, welche man auf dem Continente so reichlich antrifft, sind demnach Sedimente des Meeres, das einst diese Gegenden bedeckte. Damit stimmt der Umstand vollkommen überein, daß sich bei Salzlagern auch Ueberreste von Seethieren und Seepflanzen finden. In dem berühmtesten aller Salzlager, bei Wieliczka, sieht man deutlich, wie das Salz den Lauf der Karpathen verfolgt, und da, wo es an die Berge grenzt, mit einer solchen Biegung aufhört, wie sie beim Wellenschlage nothwendig entstehen mußte; auch findet sich unter den dortigen Salzgattungen eine etwas bitter schmeckende. Die Verschiedenheit des Salzgehaltes rührt von der verschiedenen Ausdünstung, und diese von der größeren oder geringeren Bewegung der Luft über dem Wasser, und von ihrer Temperatur ab.

131. Wiewohl das Meer im Ganzen keine von seiner Schwere ab-

hängende fortschreitende Bewegung hat, so gibt es doch mannigfaltige Bewegungen seiner Fluthen, die oft für die Schifffahrt von großer Bedeutung sind. Dahin gehören die Ebbe und Fluth, beständige, periodische und unregelmäßige Strömungen und endlich der Wellenschlag.

132. Unter Ebbe und Fluth versteht man das periodische Abnehmen und Anschwellen des Wassers, deren jedes täglich zweimal erfolgt. Ungefähr 6 Stunden nach der Fluth tritt die Ebbe ein, und diese wechselt nach einer gleichen Zwischenzeit wieder mit der Fluth; doch verspätet sich die periodische Wiederkehr der Fluth täglich um ungefähr so viel, daß ihre Periode genau mit der halben täglichen Umlaufszeit des Mondes zusammenfällt. In offener See schwillt das Wasser von Osten her an, und läuft gegen Westen wieder ab; an den Küsten wird aber sowohl die Richtung als die Geschwindigkeit und Größe des Zu- und Abströmens durch die besondere Lage und die Krümmungen der Küsten, durch Strömungen, wohl auch durch das Einmünden der Flüsse und durch Winde bedeutend modificirt. Zwischen den Orkneiund den schetländischen Inseln fließt das Wasser von NW. zu und nach SO. ab, in der Davisstraße kommt es von S. und fließt nach N. ab; die mittlere Geschwindigkeit des Zu- und Abflusses wird in offener See zu 2 F. angenommen, an den Küsten fällt sie oft so klein aus, daß auf einen Tag statt zwei Fluthen nur eine kommt, wie dieses bei Westindien der Fall ist; auch erfolgt der Zu- und Abfluß nicht immer mit derselben Geschwindigkeit. In der Meerenge von Malacca fließt das Wasser einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lang zu, und nur 3 St. lang ab; bei Vera Cruz dauert der Zu- und Abfluß gar 24 St., und es herrscht daselbst während eines Tages gar nur eine Fluth und eine Ebbe. Die Höhe der Fluth ist nicht immer dieselbe, sondern unterliegt bedeutenden Veränderungen, und diese stehen in deutlicher Beziehung mit den Mondesphasen und mit der Entfernung des Mondes von der Erde. Gegen die Zeit des Vollmondes und des Neumondes wachsen sie, und gegen die Zeit der Viertel nehmen sie wieder ab; doch treffen die größten Fluthen (Springfluthen) erst 1½ Tag nach dem Voll- oder Neumonde ein, und auch die kleinsten (Nippfluthen) fallen nicht genau auf die Mondesviertel. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beschleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Opposition der Quadratur zugeht, und verzögert, wenn derselbe von der Quadratur der Conjunction und Opposition entgegengeht. Selbst die Springfluthen sind periodischen Ungleichheiten unterworfen; sie sind zur Zeit der Nachtgleichen am größten, zur Zeit der Sonnenwende am kleinsten, doch sind wieder in den Wintermonaten die Springfluthen der nördlichen Halbkugel Morgens stärker als des Abends, umgekehrt in den Sommermonaten. So wie sich die Sonne, noch mehr aber der Mond der Erde nähert, wachsen die Fluthen so, daß die größten aller Fluthen dann eintreten, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu- oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zusammentrifft. — Beim Ausflusse der Elbe

beträgt der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande 10—12 F., bei den canarischen Inseln steigen die Springfluthen auf 7—8 F., an den portugiesischen und spanischen Küsten auf 12 F., in der Bai von Biscaya auf 15 F., in der Bai von St. Malo auf 15 F., bei Cherbourg beträgt die Fluthhöhe 19 F., bei Cowes 14 F., bei Havre und Dovre 18 F., bei Dieppe und Calais 17 F. Die Fluth reicht oft weit in die Flüsse hinein, und erzeugt an den Mündungen Sandbänke (Barren).

133. Man leitet heut zu Tage allgemein Ebbe und Fluth von der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes ab, und rechtfertiget dieses durch genaue Berechnung dieser Phänomene aus der Gravitation. Diese Berechnung beruht auf Folgendem: Es sey C (Fig. 374) der Mittelpunkt der Erde, dieselbe sey ringsum von Wasser bedeckt, und dieses habe in jenem Gleichgewichtszustande, in welchen es bloß durch die irdische Schwere versetzt wird, die Gestalt acbd. Ist A ein Körper, der anziehend auf die Erde wirkt, und seine Entfernung von derselben von solcher Größe, daß gegen sie der Erdhalbmesser nicht verschwindet, und daher die Theile in a, c, b, d, C eine verschiedene Anziehung erleiden; so kann das vorige Gleichgewicht nicht weiter bestehen, und die Flüssigkeit wird eine andere Gestalt annehmen müssen, damit wieder Gleichgewicht eintrete. Da a mehr gegen A hin gezogen wird, als C, letzteres hingegen mehr als b, so wird sich dem Körper A die Oberfläche des Wassers in a mehr, in b aber weniger nähern, als der feste Theil der Erde, dessen Annäherung an A jener seines Mittelpunktes gleich ist, und das Wasser nimmt demnach die Gestalt $\alpha\gamma\beta\delta$ an. Es käme das Wasser ins Gleichgewicht, wenn die Erde keine Axendrehung und der Körper A keine Bewegung hätte; vermöge der Axendrehung der Erde und der Bewegung des Körpers A um dieselbe bleibt es aber in steter Bewegung, es strömt fortwährend von c und d nach a und b hin, aber die Stellen a und b rücken selbst um die ganze Erde herum. Ist nun A der Mond, so begreift man leicht, daß durch ihn täglich an derselben Stelle zwei Fluthen und zwei Ebben hervorgebracht werden. Auf ähnliche Weise wirkt auch die Sonne, aber die von ihr erzeugten Fluthen werden kleiner seyn, ungeachtet ihre Anziehung größer ist, als jene des Mondes, weil ihre Entfernung von der Erde so groß ist, daß sie die Punkte a, b, c, d und C fast gleich stark anzieht. Fallen die von der Sonne und die vom Monde herrührende Fluth zusammen, so geht daraus eine Springfluth hervor; fällt die Mondesfluth in die Sonnenebbe, so resultirt daraus eine Nippfluth. Hier wurde der Leichtigkeit wegen die ganze Erde mit Wasser bedeckt angenommen. Wenn auch dieses in der Wirklichkeit nicht Statt findet, so wird dadurch im Wesen der Theorie doch nichts geändert, sondern es werden nur locale Abänderungen hervorgebracht. (Eine genaue Theorie dieser wichtigen Erscheinung findet man in La Place *mécanique céleste, Tom. II. p.* 63 *et s. Tom V. p.* 145, und in Schmidt's Handb. der math. und phys. Geographie. Göttingen 1830. B. 2. S. 532.)

134. Die Strömungen sind vorzüglich für die Schifffahrt

von großer Wichtigkeit, und werden darum von den Seefahrern fleißig beobachtet. Sie rühren im Allgemeinen von den herrschenden Winden, von der Axendrehung der Erde, von der verschiedenen Temperatur und Salzigkeit des Meerwassers, vom zeitweiligen Schmelzen des Polareises, von der ungleichen Ausdünstung, von Ungleichheiten des Bodens, und endlich von der durch einströmende Flüsse mitgetheilten Geschwindigkeit her. Unter den allgemeinen Strömen ist der Aequatorialstrom (von den Holländern Dienung genannt) der wichtigste; er herrscht zwischen den Wendekreisen, ja selbst bis zum 28sten Grad nördlicher Breite, und fließt mit einer mittleren Geschwindigkeit von 9—10 Meilen in 24 St. im Allgemeinen von Ost nach West, aber durch den Widerstand der Küsten erhält er oft eine andere Richtung. Ein anderer wichtiger, beständiger Strom ist der Golphstrom. Dieser entsteht durch den Aequatorialstrom im mexicanischen Meerbusen, geht Anfangs durch den Canal von Bahama nördlich, hierauf nordöstlich und dann östlich, und wird dabei immer breiter und langsamer. Oestlich von Boston ist er 80, im Meridian der Azoren gar 160 Seemeilen breit, und hat eine Geschwindigkeit von einer Meile in der Stunde. In 45°—50° nördl. Br. theilt er sich in zwei Arme, wovon einer südlich geht und unter Madeira wieder zu seinem Ursprunge zurückkehrt, der andere aber in nordöstlicher Richtung gegen die Küsten von Europa zieht, an den norwegischen und irländischen Küsten gleichsam reflectirt wird, nach West zurückkehrt, und mit einem aus dem Eismeere durch die Davisstraße kommenden Strome vereint gegen die Ostküste Grönlands zugeht. Man erkennt sein Daseyn leicht aus der höheren Temperatur, aus der blauen Farbe seines Wassers und dem häufigen Tange, den er mit sich führt. Es gibt noch viele andere beständige Ströme, aber sie sind noch nicht so genau untersucht, wie die vorhergehenden. Ein solcher geht vom baltischen Meere ins deutsche, vom schwarzen Meere in den Bosphorus und seitwärts wieder zurück ꝛc. Auch viele periodische Strömungen sind bekannt. Den größten Theil des Jahres hindurch geht das Wasser um das Cap Horn und Feuerland vom stillen in den atlantischen Ocean. Im indischen und chinesischen Meere gibt es mehrere periodische Strömungen. Vom October bis Mai strömt das Wasser in das rothe Meer, und vom Mai bis October fließt es wieder zurück. Im chinesischen Meere herrscht von Mitte Mai bis Mitte August ein nordöstlicher, und von Mitte August bis Mitte Mai ein südwestlicher Strom. Zufällige Strömungen können überall durch anhaltende Winde und den Wechsel des Wasserreichthums einmündender Flüsse erzeugt werden. — Stoßen starke Ströme in entgegengesetzten Richtungen auf einander, so entstehen daraus Wirbel, die manchmal noch durch den Widerstand des Wassers an Felsen, auch durch Reflexion desselben bedeutend verstärkt werden, aber den Schiffenden jetzt nicht mehr so fürchterlich sind, als ehemals. Solche Wirbel sind die sogenannten Scylla und Charibdis, der Mahl- oder Moskestrom an der norwegischen Küste, der chalcidische Strudel zwischen Euböa und Attika, mehrere Wirbel im indischen Meere, bei Japan ꝛc.

135. Durch den Stoß des Windes entstehen die Wellen. Bläst der Wind mit der Oberfläche des ruhigen Wassers parallel, so kann er durch Reibung die Wellenbewegung anfachen, trifft er sie aber schief, so wirkt er, wie ein in das Wasser geworfener Körper. Aus S. 194 u. f. ist klar, nach welchen Gesetzen alles vor sich geht. — Die Höhe und Breite der Wellen richtet sich nach der Stärke und Richtung des Windes und nach der Aufeinanderfolge seiner Stöße, aber auch nach der Tiefe des Wassers, daher man auch letztere aus dem Wellenschlage beurtheilen kann. Die mittlere Höhe der Wellen beträgt nicht über 6 F., sie ist in der Nordsee größer als in der Ostsee und im mittelländischen Meere, im atlantischen Oceane sind die Wellen vorzüglich lang und breit. Der Wellenschlag ist nur in offener See völlig regelmäßig, wenn ihm keine Klippen im Wege stehen; an Felsen entstehen die sogenannten Brechen (reflectirte Wellen), und an Ufern die Brandungen. (System einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens von Otto. Berlin 1810.)

Drittes Kapitel.

Festes Land.

136. Eben so mannigfaltig, wie sich das feste Land in Bezug auf seine äußeren Umrisse darstellt, erscheint es auch hinsichtlich der Beschaffenheit seiner Oberfläche. Dasselbe Land erhebt sich in verschiedener Höhe über das Meer, und steigt in der Regel desto mehr auf, je weiter es vom Meere entfernt ist. Der Verticalabstand der größten Höhe von der kleinsten, ist nicht genau bekannt. Setzt man die größte Tiefe des Meeres gleich der halben Höhe des höchsten Berges über die Meeresfläche, so erhält man für jenen Abstand etwa 6000 Klafter, und diese machen den 573sten Theil des Erdhalbmessers. Demnach sind selbst die größten Erhöhungen gegen die Größe der Erde verschwindend klein. Erhöhungen der Erdoberfläche heißen nach Maßgabe ihrer Größe Berge oder Hügel, und die tieferen Stellen zwischen Erhöhungen werden Thäler genannt. Die Berge hängen meistens reihenweise zusammen und bilden große Massen (Gebirgsketten), die über den benachbarten Boden hervorragen und an verschiedenen Punkten noch höher aufsteigende Gipfel als besondere Berge darstellen, doch gibt es auch viele einzeln stehende Berge. Die allgemeinste Form einer Gebirgskette ist die eines dreiseitigen Prisma's, das mit einer Seite auf einem horizontalen Boden liegt, wie ein Dach, und wovon die obere Kante das Joch, die Seitenflächen die Abfälle und die unteren Theile des Abfalles den Fuß derselben ausmachen. — Gebirgsketten durchziehen die Oberfläche der Erde nach allen Richtungen. Die Gegenden, wo mehrere Gebirgsketten sich vereinen, bilden die Knoten des Gebirgssystems, und von da aus werden sie durch große Thäler von einander getrennt, die man Hauptthäler (Längenthäler) nennt.

137. Die Höhe eines Berges kann im zweifachen Sinne genommen werden. Entweder versteht man darunter die verticale Entfernung des Gipfels von seinem Fuße oder die Erhöhung desselben über die Meeresfläche. Im letzteren Falle denkt man sich eine Linie vom Mittelpunkte der Erde bis zum Gipfel eines Berges, und eine andere bis zur Meeresfläche in derselben geographischen Breite mit dem Berge gezogen. Der Unterschied dieser zwei Linien gibt die Höhe des Berges in der zuletzt genannten Bedeutung. Diese Höhe ist von der ersteren sehr verschieden, weil der Fuß eines Berges selbst oft schon auf einer bedeutenden Anhöhe steht. Man bestimmt die Höhe eines Berges entweder durch Nivelliren oder durch trigonometrisches Ausmessen, oder mittelst des am Gipfel und am Fuße oder an der Meeresfläche beobachteten Luftdruckes. Das erstere Verfahren ist mühsam und oft gar nicht ausführbar, und gibt selbst im günstigsten Falle nur die Erhöhung des Berges über seinen Fuß; letzteres gilt auch von der zweiten, die überdieß auch noch durch die irdische Strahlenbrechung, welche die Höhe der Gegenstände vergrößert, unsicher gemacht wird, wenn man nicht zugleich die Messungen so einrichtet, daß man daraus zugleich die Größe der Strahlenbrechung erfährt; die dritte ist am leichtesten ausführbar, und kommt auch an Schärfe den vorhergehenden ziemlich nahe, wenn man keine Vorsicht vernachläßiget.

Ist P der Luftdruck an der Basis eines Berges, P′ der Luftdruck in einer um eine Längeneinheit höheren Station, und setzt man $\frac{P'}{P} = Q$, so wird der Luftdruck a in einer um m Einheiten über die Basis erhöhten Station durch PQ^m und der Luftdruck b in einer um n Einheiten erhöhten Station durch PQ^n ausgedrückt, und man hat:

$$Q^m = \frac{a}{P},\ Q^n = \frac{b}{P};\ m \log Q = \log\frac{a}{P},\ n \log Q = \log\frac{b}{P},$$

mithin aus beiden Gleichungen

$$m = n \, . \, \frac{\log P - \log a}{\log P - \log b} \quad . \ . \ . \ . \quad (I).$$

Den Luftdruck a und b lernt man aus der Länge der Quecksilbersäule in einem guten Barometer oder aus der Siedhitze des reinen Wassers kennen, und daher ist diese Höhenmessung selbst entweder eine barometrische oder eine thermometrische. Denkt man sich den Barometerstand an der Basis = 28 P. Z. = 336 L., und die zweite Station um 0.10467 F. höher; so muß in dieser der Barometerstand um 0.00001 F. = 0.00144 L. tiefer stehen, weil das Quecksilber bei 28 P. Z. Luftdruck und einer Temperatur von 0° C. 10467mal dichter ist als atmosph. Luft. Man hat daher P = 336, b = 336 — 0.00144 = 335.99856, n = 0.10467, und weil $\log P - \log b = 0.0000018585$ ist,

$$m = 56320\ (\log P - \log a)\ . \quad (II).$$

Heißt in einer anderen Station der auf 0° C. reducirte Barometerstand a′; so erhält man die Höhe m′ derselben durch die Formel

$$m' = 56320\ (\log P - \log a')$$

und aus beiden den Höhenunterschied beider Stationen:

$$m' - m = 56320\ (\log a - \log a')\ . \ . \quad (III).$$

Diese Formel gilt aber nur für die Temperatur = 0° C. und für ganz

trockene Luft, ja sie setzt sogar voraus, daß die Schwere auf die obere und untere Luftschichte gleich stark und in beiden so wirke, wie in einer Breite von 45°. Alle diese Punkte trifft man aber nie in der Wirklichkeit so an, wie es hier verlangt wird; daher muß man obige Formel so einrichten, daß sie auf jeden vorkommenden Fall paßt. Der numerische Coefficient dieser Formel ändert sich mit der Wärme, weil dadurch auch das Verhältniß zwischen der Dichte des Quecksilbers und der Luft verändert wird. Man kann füglich annehmen, jener Coefficient sey der Temperatur proportionirt, und gehe dann für die Temperatur τ in $56320\,(1 + 0.00365\,.\,\tau)$ über. Der Werth von τ ist die mittlere Temperatur beider Stationen, als welche man gewöhnlich die halbe Summe der Temperaturen beider Stationen annimmt. Ist demnach die Temperatur der Luft in der unteren Station t, in der oberen t'; so hat man:

$$m' - m = 56320\left(1 + 0.00365\,.\,\frac{t + t'}{2}\right)(\log a - \log a').$$

Die Correction für die in der Luft enthaltenen Dünste bezieht sich auf zwei Punkte, 1) auf die Aenderung des Luftdruckes durch den Zutritt der Dünste, 2) auf die Aenderung der Ausdehnungsgröße trockener Luft durch die Wärme, welche durch Beimengung der Dünste eintritt. Heißt die Spannkraft der Dünste in der unteren Station e, in der oberen e'; so verhält sich der Druck von Seite der Dünste zum Druck von Seite der Luft in der unteren Station nahe wie $\frac{10}{16}e : a$, in der oberen wie $\frac{10}{16}e' : a'$, falls die Dünste wie die Luft nach oben zu an Dichte abnehmen; allein da nach Anderson die Dünste viermal schneller abnehmen als die Luft, so hat man nur die Verhältnisse nahe wie $\frac{1}{6}e : a$ und $\frac{1}{6}e' : a'$. Daher ist der Druck der trockenen Luft in der unteren Station $a - \frac{e}{6}$, in der oberen $a' - \frac{e'}{6}$. Das Volum trockener Luft ändert sich durch Beimengung von Dünsten in der unteren Station in dem Verhältnisse $1 + \frac{e}{a - e} : 1$, in der oberen wie $1 + \frac{e'}{a' - e'} : 1$. Setzt man nun für e oder e' die mittlere Spannkraft der Dünste $\frac{e + e'}{2}$, und für a die mittlere Barometerhöhe $\frac{a + a'}{2}$; so hat man eine Aenderung des Luftvolums und daher auch des specifischen Gewichtes in dem Verhältnisse $1 + \frac{(e + e')}{a + a' - (e + e')} : 1$.

Werden diese Correctionen in obiger Formel angebracht, so wird:

$$m' - m = 56320\left(1 + 0.00365\,.\,\frac{t + t'}{2}\right)$$
$$\left(1 + \frac{e + e'}{a + a' - (e + e')}\right)\left[\log\left(a - \frac{e}{6}\right) - \log\left(a' - \frac{e'}{6}\right)\right].$$

Die Correctionen wegen der Abnahme der Schwere nach oben lassen sich am einfachsten dadurch anbringen, daß man ein- für allemal den Coefficienten 56320 um 150 Einheiten vergrößert. Die Correction, wodurch die Formel für jede geogr. Breite φ brauchbar wird,

verrichtet man mittelst des Factors $1 + 0.002837 \cos 2\varphi$. Auf diese Weise erhält man als allgemeine Formel, welche den Höhenunterschied zweier Stationen in P. F. angibt:

$$m' - m = 56470 \left(1 + 0.00375 \cdot \frac{t + t'}{2}\right)$$
$$\left(1 + \frac{e + e'}{a + a' - (e + e')}\right) \left[\log\left(a - \frac{e}{6}\right) - \log\left(a' - \frac{e'}{6}\right)\right]$$
$$\left(1 + 0.002837 \cos 2\varphi\right).$$

Für Fälle, wo keine gar große Schärfe verlangt wird, reicht die Formel aus

$$m - m' = 56470 \left(1 + 0.002 \cdot (t + t')\right) \left(\log a - \log a'\right).$$

Soll die Formel die Höhenunterschiede im Wiener Fußmaß angeben, so muß man statt obigen Factors 56470 setzen 57992. Wenn die Stationen, deren Höhenunterschied man sucht, nicht gar weit von einander entfernt sind, so kann man diesen Unterschied nach den gleichzeitigen Barometerhöhen in beiden berechnen; ist aber ihre Entfernung groß, so muß man für a und a′ die aus vielen Beobachtungen genommenen mittleren Höhen setzen. Im ersten Falle ist weder die Tageszeit noch der Zustand der Atmosphäre, bei denen man die Beobachtung macht, gleichgültig.

Die Theorie der thermometrischen Höhenmessung besteht in Folgendem: Bekanntlich haben die aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dünste eine Spannkraft, welche dem jedesmaligen Luftdrucke gleich ist, und beide werden demnach durch dieselbe Quecksilbersäule gemessen; ferner herrscht zwischen der Spannkraft a jener Dünste und der Temperatur t der oberen siedenden Schichten eine Relation, die sich durch folgende Gleichung ausdrücken läßt:

$$\log a = \frac{23.945371\, t}{800 + 3t} - 2.2960374,$$

wobei a in Metern angegeben wird. Die Formel (II) in das metrische Maß übersetzt, erhält die Gestalt

$$m = 18336 \left(\log P - \log a\right).$$

Substituirt man in selbe für $\log a$ den obigen Ausdruck, und setzt man $P = 0^m.76$, so hat man

$$m = 39914.7 - \frac{439062\, t}{800 + 3t}.$$

Die Correctionen wegen der Luftfeuchtigkeit, der Temperatur und den Aenderungen der Schwere lassen sich wie bei der barometrischen Formel anbringen.

Zur leichteren Berechnung geringer Berghöhen dient folgende Tafel: B bezeichnet den auf 0° C. reducirten Barometerstand, H die Höhe, D die Differenz zweier auf einander folgender Höhen. Alles bezieht sich auf Wiener Maß.

B.	H.	D.	B.	H.	D.
301 L.	84 F.	8.3	321 L.	1704 F.	7.9
302	168	8.3	322	1738	7.7
303	250	8.3	323	1860	7.8
304	333	8.3	324	1938	7.8
305	416	8.3	325	2016	7.7
306	499	8.3	326	2093	7.8
307	581	8.2	327	2171	7.6
308	663	8.2	328	2247	7.7
309	745	8.1	329	2324	7.6
310	826	8.1	330	2400	7.7
311	907	8.1	331	2477	7.6
312	988	8.0	332	2553	7.5
313	1068	8.1	333	2628	7.6
314	1149	8.0	334	2704	7.5
315	1229	8.0	335	2779	7.6
316	1309	7.9	336	2855	7.5
317	1388	8.0	337	2930	7.4
318	1468	7.9	338	3004	7.4
319	1547	7.9	339	3078	7.4
320	1626	7.8	340	3152	7.4

Beim Gebrauche nehme man, aus der Columne H die Zahl, welche den Barometerstand B in der ersten Station, nach Hinweglassung der Bruchtheile einer Linie, bezeichnet, hierauf multiplicire man die weggelassenen Zehntellinien mit der Zahl aus der Columne D, welche dem Barometerstande entspricht, und addire dieses Product zu ersterer Zahl, thue hierauf dasselbe für den Barometerstand der zweiten Station; so erhält man durch die Differenz der zwei so gefundenen Zahlen die verlangte Höhe = A. Um diese für die Luftwärme in beiden Stationen zu corrigiren, multiplicire man den tausendsten Theil der gefundenen Höhe mit der doppelten Summe der Temperaturen beider Stationen, und gebe das Product mit seinem Zeichen zu A. Z. B. aus 24 gleichzeitigen, im botanischen Garten in Wien, und am Leopoldsberge bei Wien angestellten Beobachtungen ergab sich die auf 0° C. reducirte Barometerhöhe in Wien = 339.1 L. und die am Leopoldsberge = 330.5.

Der Zahl 339 entsprechen in der Tabelle 3078
0.1 7
mithin 339.1 3085
Eben so entsprechen der Zahl 330 in der Tabelle 2400
0.5 38
mithin 330.5 2438
und daher der Höhenunterschied 3085 — 2438 = 647

Die Temperatur in Wien war 14.40, die am Kahlenberge 14.42, mithin die doppelte Summe 57.64 und 57.64 × 0.647 = 37.4, und daher die gesuchte Höhe 647 + 37 = 684 F.

Siehe hierüber: Die Hypsometrie mittelst physischer Beobachtungen von A. Suppan. Innsbruck 1834. Das Höhenmessen mit dem Thermometer von J. W. Gintl. Wien 1835.

138. Das Joch einer Gebirgskette ist selten so schmal, als die vorhin gemachte Vergleichung mit der Kante eines dreiseitigen Pris-

ma's anzuzeigen scheint. Es gibt wohl, besonders in Deutschland, einige Punkte, wo das Joch nicht die Breite eines Hauses hat, wie z. B. am Brenner in Tirol, wo das Dachwasser eines Hauses von einer Seite dem adriatischen, von der anderen dem schwarzen Meere zufließt, oder im Dorfe Siechingen im Würtembergischen, wo von einem Hause sich das Regenwasser zum Theil in den Neckar, und mithin in die Nordsee, zum Theil in die Donau, und dadurch ins schwarze Meer ergießt. In den französischen Gebirgen beträgt die Breite kaum eine Meile, in Norwegen bei Langfiels 8—12 Meilen, in Amerika gar 50 Meilen. Man heißt diese Gegenden **Landhöhen** oder **Landrücken**. Die berühmtesten **Landhöhen** befinden sich in Amerika, nämlich die von Titicaca und Antisana (2050—2155 W. Kl. hoch), von Quito und Caxumarca (1530 Kl.), von Bogota (1407 Kl.) und Mexico (1199 Kl.). Asien hat, so weit man es kennt, nur zwischen den Gebirgsketten des Himalaya und Kuenlun Landhöhen, die sich den amerikanischen zur Seite stellen lassen. Die persische Landhöhe hat nur 667 W. K. Afrika ist uns zu wenig bekannt, als daß man die Landhöhen genau anzugeben im Stande wäre. Das Hochland Abessinien ist wohl unter allen das bekannteste, und auch nach allen Nachrichten so hoch, daß es dem Hochlande Quito noch am ersten an die Seite gestellt werden dürfte. Europa hat kein Hochland aufzuweisen, welches sich mit denen der übrigen Welttheile messen könnte. Das schwäbische Hochland hat nur 450 Kl. Höhe, das Plateau zwischen den Alpen und dem Jura 267—277 Kl., und das in Spanien 359 Kl. Höhe. Selbst das Hospiz auf dem großen Bernhard, der höchste bewohnte Ort Europa's und noch dazu keine Gebirgsebene, liegt tiefer als die benannten Landhöhen der anderen Welttheile.

139. Selten behält ein Joch eine lange Strecke hindurch dieselbe **Richtung**, sondern es wendet und biegt sich nach verschiedenen Gegenden. Von der Richtung der Gebirgsrücken hängt die Gestalt eines Landes ab, das sich über das Meer erhebt. In Amerika lauft ein mächtiges Gebirge von Süd nach Nord, und das Land hat auch in dieser Richtung die größte Ausdehnung. In Nordamerika läuft ein Gebirge von Nord nach Süd längs der Westküste, und ein anderes an der Ostküste von Nordost nach Südwest, und davon hängt die dreieckige Gestalt des Landes ab; dasselbe findet in Südamerika Statt, wo nebst dem von Nord nach Süd laufenden Gebirge auch noch eine Gebirgskette von Nordost nach Südwest hinzieht. In Asien ziehen die größten Gebirge von Ost nach West durch das Land, und dieser Welttheil ist auch in dieser Richtung am ausgedehntesten; Indien erhält seine dreieckige Gestalt wie Nord- und Südamerika durch besondere Bergketten; Afrika erhält seine Gestalt durch Gebirgsketten, die in der Nähe des Meeres hinlaufen; in Europa erstrecken sich die größten Gebirge von Nordost nach Südwest, und in dieser Richtung ist dieser Welttheil auch am ausgedehntesten. — Die **Höhe** des **Joches** ist in derselben Gebirgskette verschieden. Ist die Kette selbstständig und von allen Seiten mit Ebenen umgeben, so liegt ihre größte Höhe

in der Mitte; ist sie aber nur ein auslaufender Zweig eines größeren Gebirgsstammes, so hat sie in dem Theile die größte Höhe, welcher dem Centrum am nächsten ist, und verflächt sich immer mehr.

140. Beträchtliche und schnelle Abfälle eines Gebirgsjoches bilden Pässe, welche als Vereinigungspunkte zweier getrennten Länder angesehen werden können, und ihrer, in Bezug auf die benachbarten Theile des Gebirges, niederen Lage ungeachtet, oft eine bedeutende absolute Höhe haben. Auf diese Weise verbinden die Pässe über den Brenner und St. Gotthard das westliche Deutschland mit Italien, der Paß des Puymorin Frankreich mit Spanien u. d. m. Oft werden Gebirgszüge von Flüssen durchbrochen, wie dieses z. B. die Elbe bei Königstein, der Rhein zwischen Mainz und Köln thut. Daher folgt auch die Wasserscheide nicht den Gebirgszügen.

141. Der Abfall einer ganzen Gebirgskette besteht aus einer großen Anzahl besonderer Abfälle, die man ersteigen muß, um den Gipfel oder das Joch zu erreichen. Die mittlere, aus allen diesen zusammengesetzte Neigung der Seitenflächen wechselt bei gewöhnlichen Gebirgsketten von 2°—6°, der südliche Abfall der Alpen von den höchsten Punkten an beträgt nur 3³/₄°. Allein es scheint eine allgemeine Regel zu seyn, daß die beiden Abhänge einer Gebirgskette ungleich sind, und daß immer einer kürzer und steiler als der andere ist. Die Pyrenäen, Alpen und Karpathen haben den stärksten Abfall gegen Süden, das Erzgebirge, die Sevennen, Vogesen und der Jura gegen Osten, die Anden in Amerika sind gegen Westen am steilsten. Man kann es als Regel ansehen, daß die Gebirge immer dort den steilsten Abhang haben, wo sie ein Becken einschließen, es mag dieses nun festes Land seyn, oder Wasser enthalten. So sind alle Gebirge, welche Böhmen umgeben, gegen dieses Land hin am steilsten, der Schwarzwald und die Vogesen sind gegen das Rheinthal am steilsten; die Berge, welche den Genfersee einschließen, kehren diesem den kürzesten Abhang zu, ja selbst bei kleineren Becken findet dieses Statt. So ist der Traunstein an der Seite des Traunsees, der Watzmann an der Seite des Königssees am schroffsten.

142. Die Gebirgsketten haben häufig an den Abhängen senkrecht auf ihrer Länge tiefe Einschnitte, welche Thäler bilden, die von den vorhin genannten, von ganzen Gebirgsketten gebildeten unterschieden werden müssen, und eigentlich nur große, bis zum Fuß der Kette herabsteigende Rinnen formiren. Diese Thäler theilen die Kette in kleinere, untergeordnete Arme und Zweige, von denen alles das gilt, was von der Hauptkette gesagt wurde. Ihr Joch fällt nicht gleichförmig ab, sondern hält sich oft lange in einer bedeutenden Höhe, und senkt sich dann plötzlich; sie laufen oft über den Fuß der Hauptkette hinaus. Erstrecken sie sich bis zum Meere und endigen sich da schnell, so nennt man sie ein Cap oder Vorgebirge.

143. Den Gebirgsgegenden stehen die sogenannten Wüsten sowohl in Hinsicht ihrer physischen Beschaffenheit, als auch durch die Rolle, welche sie in der Geschichte der Erde spielen, gerade gegenüber.

Wenn jene dem Auge eine unendliche Mannigfaltigkeit darbieten, so ermüden es diese durch eine eben so große Einförmigkeit. So wie jene die Geburtsstätte der Quellen und Flüsse sind, die gewürzreichsten und kräftigsten Pflanzen nähren, unzähligen Thieren zum Aufenthalte dienen, und von ihren höheren Punkten das herrlichste Panorama darstellen; so sind diese wasserarm und trocken, von aller Vegetation entblößt, meistens nur mit Sand und kleinen Steinen bedeckt, und gewähren dem Wanderer das schauerliche Bild einer todten Welt. — Wiewohl die Wüsten in der Regel allenthalben, wo sie vorkommen, denselben Grundcharakter einer großen, der Vegetation im Allgemeinen ungünstigen Ebene behalten; so werden sie doch im Einzelnen durch die Beschaffenheit des Bodens, durch das Klima und ihre Höhe über die Meeresfläche näher bestimmt. — Die Wüsten von Asien und Afrika sind eigentliche Sandmeere, und bestehen aus unermeßlichen Strecken die mit Flugsand oder mit großen Kieselstücken übersäet sind; sie lassen sich vom Cap Bojador an bis jenseits des Indus in einer Strecke von 1400 geogr. Meilen verfolgen. Die größte ist die Sahara, die wie ein ausgetrockneter Meeresarm ganz Afrika zwischen dem 15. und 31.° nördl. Br. durchsetzt, und 65000 Q. Meilen faßt. In ihr spricht sich der Charakter einer Sandwüste am schrecklichsten aus. Sie bietet dem Auge nichts als eine unermeßliche, durch keinen Hügel unterbrochene Ebene dar, nichts als brennender Sand, mit dem die Winde ihr verderbliches Spiel treiben, bedeckt den pflanzenleeren Boden, keine Quelle findet sich daselbst, und nur selten stoßt man auf künstliche, in den Sand gegrabene Brunnen, zu welchen dem Wanderer die in Sand gesteckten Knochen von umgekommenen Thieren den Weg zeigen, die häufig wieder verschüttet oder von Insectenschwärmen erfüllt sind. Die Luft ist wolkenlos, heiß, röthlich trübe, mit dem feinsten Sande überladen, von keinem Regen erfrischt und von keinem Vogel besucht. Nur wenige Orte dieses grauenvollen Meeres ragen, wie Inseln, mit ihrer üppigen Vegetation aus dem Sande hervor; sie werden Oasen genannt. Eine andere große Wüste Afrika's ist die Lybische, welche vom Nilthale begrenzt wird. Jenseits der Landenge von Suez fängt die Wüste Nedsjed an, die das ganze Innere von Arabien ausfüllt. Der Euphrat ist die östliche Grenze der arabischen und syrischen Wüste. Persien wird vom caspischen Meere an bis zum indischen von ungeheuren Sandmeeren durchschnitten, unter denen die an Salz reichen Wüsten von Adjemin, Kerman und Mekan die hauptsächlichsten sind. Nach Humboldt beträgt der Erdstrich, den diese Sandwüsten einnehmen, die Oasen abgerechnet, gegen 112,000 geogr. Quadratmeilen.

144. Die Ursachen der Abwesenheit aller Vegetation in den bisher genannten Wüsten ist der Mangel an Wasser, der durch das Klima und die Lage hervorgebracht ist, und die Armuth an Vegetation selbst wieder bedingt. Dieses zeigen die Oasen dieser Wüsten, und der Umstand, daß selbst dort, wo das Klima kälter ist, aber wegen der Höhe über der Meeresfläche und der Beschaffenheit des Bodens alles Wasser

abfließt, die Gegend das traurige Bild einer Sandwüste darstellt, wie dieses bei der asiatischen Wüste Cobi zum Theile der Fall ist. Diese bedeckt nämlich einen großen Theil der großen Gebirgsebene Asiens, und hat am westlichen Theil in einer nördlichen Breite von 35—45° große Strecken, die mit Flugsand bedeckt sind. Der Einfluß des Wassers zeigt sich vorzüglich an den sogenannten Llanos in Amerika, an der Wüste Karao in Südafrika und an vielen Gegenden, die bei einem anderen Klima gewiß Sandwüsten wären, nun aber in die Reihe der sogenannten Steppen gerechnet werden dürfen. Die Karao hat ungefähr 1000 geogr. Quadratmeilen, liegt zwischen hohen Bergen, und ist selbst von nicht unbedeutenden Thonschiefergebirgen durchzogen, stellt aber doch auch Ebenen von 30—40 Quadratmeilen dar. Ihr Boden besteht auch aus Thon und Sand. Dieser wird während des Sommers so ausgetrocknet, daß er mächtige Sprünge bekommt, an vielen Stellen ganz ausgedörrt ist und die Vegetation verliert, während er an anderen, wasserreichen mit dem schönsten Pflanzenschmucke prangt. Sobald aber die kühlere Jahreszeit Regen bringt, so erwachen die in der Erde vergrabenen Wurzeln und Samen, und bald lockt die üppige Vegetation die Bewohner der nahen Gebirge mit ihren Heerden herbei. Ein ähnliches Schauspiel bieten die Llanos in Amerika dar. Sie liegen, wie die Sahara, im heißen Erdstriche, besitzen aber ein mehr feuchtes Klima, und erscheinen daher in jeder Jahreshälfte in einer anderen Gestalt. Wenn im Sommer unter dem senkrechten Strahle der Sonne die Pflanzendecke abgebrannt und der Boden ausgetrocknet ist, und selbst der sonst kühlende Ostwind neue Hitze bringt; so wetteifern sie an Unfruchtbarkeit mit Sahara; sobald aber die Regenzeit eintritt, überzieht sich der ganze Boden mit den mannigfaltigsten Gräsern.

145. Die Steppen gleichen durch ihren Mangel an abwechselnden Vertiefungen und Erhöhungen den Wüsten, unterscheiden sich aber von ihnen dadurch, daß sie den Sommer hindurch mit Pflanzen besetzt sind, worunter viele Salzpflanzen vorkommen, die wenigstens den Schein einer Wüste tilgen. Solcher Steppen gibt es besonders in Asien viele. Sie erstrecken sich von der chinesischen Mauer bis zum Aralsee, fast ununterbrochen 1000 geogr. Meilen weit. Dazu kommen noch die nördlich von Astrachan liegenden und diejenigen, welche sich zwischen der Wolga, dem Don und Dnieper bis zur sogenannten bessarabischen Wüste hinziehen. — Eine der größten Steppen der Erde befindet sich in Amerika. Sie zieht von der Küstengebirgskette von Caraccas bis zu den Wäldern von Guyana, und beträgt nach Humboldt 14000 Quadratmeilen.

146. Es haben sich mehrere ausgezeichnete Gelehrte bemüht, alle Höhenzüge der Erde als Verzweigungen eines gemeinschaftlichen Hauptstammes darzustellen. Sie nehmen z. B. den Hauptgebirgsstamm in Asien an, lassen ihn durch die Mitte dieses Welttheils hinziehen, Aeste nach Sibirien und Indien absenden, mit dem Stamme aber nach Europa fortlaufen und einen Zweig nach Afrika senden, der

diesen Welttheil durchsetzt, ununterbrochen durch das Meer fortlauft, den Antillischen Archipelagus und den Continent von Mexico bildet, und nach Nord- und Südamerika Zweige auslaufen läßt. Allein ein solcher Zusammenhang läßt sich durchaus nicht factisch nachweisen, ja es sprechen vielmehr bestimmte Erfahrungen entschieden dagegen, und zeigen vielmehr, daß man in jedem Welttheile mehrere Gebirgssysteme annehmen müsse, die nicht bloß von einander durch Ebenen und Thäler getrennt sind, sondern auch in ihrer äußeren Form und inneren Structur von einander abweichen.

147. Asien hat mehrere merkwürdige Bergsysteme: Das Bergsystem des Ural oder das Pojassowoi-Pawdinskoi-Gebirge, des Caucasus, des Taurus und Antitaurus, des Altai, Tiankhan, Kuenlun und des Himmelsgebirges (Himalaya) ꝛc. Das Uralgebirge fängt nicht weit vom caspischen Meere unter 45° nördl. Br. an, und geht von Südost nach Nordwest bis ins Eismeer fort; die caucasischen Gebirge ziehen von SO. nach NW. 95 Meilen lang zwischen dem caspischen und schwarzen Meere fort, und erreichen mit dem Berge Caucasus die größte Höhe, nämlich 2839 W. Kl. Die mittlere Höhe, der Kamm dieser Kette, beläuft sich auf 1387 Kl. Das System des Altai im weiteren Sinne erstreckt sich von Ost nach West zwischen den Parallelen von 50—59° nördl. Br., 160 Meilen tief in die Kirgisensteppe, ohne bedeutende Höhen zu erreichen. Das Bergsystem Thiankhan, von Pallas Bokhdo genannt, ist vom Altai gegen Osten durch eine hohe, von SSW. nach NNO. laufende Bergrippe, Khingkhan-Oola, getrennt, liegt in einer mittleren Breite von 42°, erreicht im Bokhda-Oola (heiligen Berge) seine größte Höhe, zieht östlich nach Barkoul, verflächt sich da in die große Wüste Cobi, und erstreckt sich nördlich von Kaschgar gegen Samarkand. Das Bergsystem des Kuenlun oder Kulkun beginnt im Westen mit dem blauen oder Zwiebelgebige (Thsungling), und zieht sich gegen Osten nach den Quellen des Hoangho hin. Das System des Himalaya trennt Kaschmir, Nepal und Butan von Thibet, und steigt im Dhawalagiri bis zu 4513 W. Kl. an, zieht größtentheils von NW. gegen SO., und ist mit dem Kuenlun durch Nebenketten verbunden.

148. Die Gebirgssysteme Afrika's sind nur wenig bekannt. Unter 10° nördl. Br. läuft ein Gebirge, die Mondberge genannt, hin, ein anderes am Vorgebirge der guten Hoffnung, und endlich an der Nordwestküste der Atlas mit seinen Ausläufern. Eben so wenig kennen wir die Gebirgssysteme Australiens.

149. Die europäischen Gebirgssysteme sind aus einleuchtenden Gründen am besten bekannt. Das Hauptgebirge Europa's sind die Alpen (weißen Berge). Sie sind von allen Seiten scharf begrenzt, dehnen sich von 23°—35° der Länge und von 44°—48° nördl. Br. aus, und haben ihre Hauptrichtung von WSW. nach ONO. Ihre größte Höhe beläuft sich auf 2523 Kl., die mittlere Höhe der Kämme auf 1208 Kl. und ihre Päße auf 1231 Kl. Der Hauptgebirgsstock ist der St. Gotthard mit einer Höhe von 1468 Kl. Ein

anderes und zwar dem Range nach das zweite Gebirgssystem bilden die Pyrenäen, die Frankreich von Spanien scheiden, und im Mont Marboré (1795 Kl.), Mont Calm (1833 Kl.), Pic de Cascade (1725 Kl.), Pic de Posets (1810 Kl.) ihre größten Höhen erreichen. Merkwürdig ist an diesem Gebirge, daß die niederen Nebenketten mit der Hauptkette völlig parallel laufen, aber auf der Hauptrichtung der Alpen senkrecht stehen. Das dritte europäische Hauptgebirge sind die scandinavischen oder die Kiölen zwischen Norwegen und Schweden. Sie laufen nur mit wenigen Krümmungen von Süd nach Nord bis an die Spitze des Nordcaps, und erreichen im Sule Tind eine Höhe von 920 Kl. Die Karpathen zwischen Ungarn und Galizien ziehen von Nordwest nach Südost, und haben im großen Krywan (1300 Kl.), der Käsmarker- (1630 Kl.) und Lomnitzerspitze (1700 Kl.) die höchste Elevation. Die Apenninen, Cevenen, Vogesen, das Juragebirge, die Sudeten, das Fichtel- und Erzgebirge rc. sind Gebirge von minderer Bedeutung.

150. Amerika hat bedeutende Gebirgssysteme. Das vorzüglichste, ja dasjenige, wovon vielleicht alle anderen bloße Verzweigungen sind, sind die Cordilleras de los Andes (Kupfergebirge), die Amerika von Nord nach Süd in einer Länge von 2500 Meilen und einer Breite von 18—20 Meilen durchziehen. Sie bilden die Hochebene von Mexico mit mehreren bedeutenden Höhenpunkten, theilen sich in Südamerika in parallel laufende Aeste, und erreichen daselbst mit dem Chimborasso die größte Höhe (3445 Kl.). In Nordamerika theilen sie sich in viele Aeste, wovon sich der längste bis zum Cap Wallis erstreckt, und sich an die von Asien übersetzenden Gebirgszüge anschließt.

151. Alles Bisherige bezieht sich bloß auf das Aeußere des festen Landes; es bietet aber auch das Innere der Erde große Merkwürdigkeiten dar, indem wir daselbst Massen erblicken, die an chemischer Beschaffenheit, Lagerung und Verbreitung rc. von einander abweichen, in ihrem Schooße die edelsten Metalle und die herrlichsten Edelsteine enthalten. Aus ihnen kommt die erquickende Quelle und die verderbliche Lava, und ihre Natur und Anordnung ist der treueste Zeuge der großen Veränderungen, welche die Erde erlitten hat. Unsere Kenntnisse erstrecken sich zwar nur auf einen sehr geringen Theil der Erdrinde, und vom Innern der Erde haben wir gar keine Erfahrungskenntniß, aber das, was wir von der Erdrinde kennen, beweiset hinlänglich, daß die mannigfaltigen Materialien, aus denen sie besteht, nach bestimmten Gesetzen auf einander folgen, und nicht ordnungslos unter einander gemengt sind. Man kann füglich alle Gebirgsarten, welche die Erdrinde bilden, in zwei Classen bringen, in jene, welche organische Ueberreste enthalten, und in solche, wo keine derlei Ueberreste vorkommen. Jene sind fast immer geschichtet, und Mangel an Schichtung gehört zu den Ausnahmen, diese hingegen sind in der Regel ungeschichtet und nur als Ausnahmen kommen Schichtungen vor; jene sind ohne Zweifel Absätze (theils mechanische, theils

chemische) aus Wasser, oder wie die Geognosten sagen, sie sind neptunischen Ursprungs, diese hingegen kann man mit eben so viel Grund als Producte der Erstarrung erhitzter Massen, als plutonische Producte, ansehen.

152. Die Gebirgsarten, welche keine organischen Ueberreste enthalten, lassen sich füglich in primitive (Urgebirge) und in vulkanische Gebirge eintheilen. Die Urgebirge bilden in der Regel die Basis der übrigen Gebirgsarten und nehmen den untersten Platz ein, doch kommen sie manchmal auch zwischen jüngeren Gebirgsarten eingekeilt vor, ragen oft über alle anderen hervor, und bilden die höchsten Punkte der Erdoberfläche. Sie haben ein krystallinisches Gefüge und nur wenige erscheinen in Schichten. Ihr chemischer Hauptbestandtheil ist die Kieselerde, dann folgt die Thonerde, Kali, Bittererde und Soda; Kalk und Flußsäure kommen zerstreut, Eisenoxyd und Mangan häufig vor. Das meiste in dieser Gebirgsart vorkommende Gestein ist aus mehreren Mineralkörpern zusammengesetzt, und erscheint als Granit, Gneis, Glimmerschiefer, Talkschiefer, Hornblendefels 2c. Man kann bei diesen Gebirgen keine bestimmte Ordnung angeben, in der sie nach einwärts auf einander folgen; doch walten in den unteren Lagen Granit, Gneis und Glimmerschiefer vor.

153. Die vulcanischen Gebirge sind Trachyt-, Basalt-Gebirge und Erzeugnisse der jetzt noch thätigen Vulkane (Lava). Die Trachytgebirge bestehen hauptsächlich aus Trachyt, einem farbigen Feldspathe, enthalten aber auch Perlstein, Obsidian, Klingstein 2c., und bilden meistens conische Berge, wie z. B. die Euganäischen Hügel bei Padua, den Mont d'Or, Puy de Dom, das Siebengebirge in Rheinpreußen, viele Berge in Ungarn, vorzüglich aber in der Andenkette. Buch sieht den Trachyt als einen durch heiße Dämpfe veränderten Granit an. Die Basaltgebirge haben ihren Namen vom Basalte, einem Gemenge aus Augitkörnern, Feldspath und Eisenoxydul, aus dem sie bestehen. Sie haben die Gestalt abgestumpfter Kegel, wie Glocken, stehen zuweilen einzeln, zuweilen in Gruppen geordnet, wie dieses auf den canarischen Inseln, in Auvergne, in Böhmen der Fall ist, sind meistens kahl und nur kleine Gesträuche vegetiren sparsam auf ihrem Rücken. Weil der Basalt eine große Neigung hat, in sechsseitigen Säulen zu zerklüften, so bilden sich häufig in Basaltgebirgen mächtige Spalten und einzeln stehende Basaltmassen. Der Riesendamm in Irland besteht aus Basalt, und bildet eine 70 Meilen fortlaufende Straße, die Riesenstraße. Dieses Gestein kommt häufig zwischen anderen Gebirgsmassen eingekeilt vor, und da bemerkt man oft in dem benachbarten Gesteine Veränderungen, wie sie nur durch eine hohe Temperatur hervorgebracht werden konnten. So z. B. wird der Kalkstein krystallinisch und härter, der Granit glasig 2c. Die Lavagebirge bestehen im Allgemeinen aus Lava, einer Masse, die dem Trachyte und Basalte sehr ähnlich ist, und ganz das Bild einer im Fortfließen erhärteten Masse gewährt, auch gewiß im geschmolzenen Zustande aus dem Inneren der Erde hervorgetrieben wurde, weil

man noch heut zu Tage oft Zeuge solcher Auswürfe der Vulcane ist. Die betreffenden Berge haben Kegelform, oben eine trichterförmige Oeffnung (Krater) und heißen Vulcane.

Nach v. Buch theilen sich alle Vulcane der Erdoberfläche in Central- und Reihenvulcane. Erstere bilden den Mittelpunkt einer großen Menge nach allen Seiten beinahe gleichmäßig wirkender Ausbrüche, letztere liegen in einer Reihe hinter einander in geringen Entfernungen. Einige erheben sich wie Kegel aus dem Grunde des Meeres, und bilden gleichsam den Fuß eines primitiven Gebirges, das in derselben Richtung ihnen zur Seite ausläuft, oft stehen sie auf dem höchsten Rücken dieser Gebirge, und bilden den Gipfel derselben. Zu den Centralvulcanen rechnet v. Buch die liparischen Inseln, den Aetna, die phlegräischen Felder und den Vesuv, Island, die azorischen, canarischen, Cap verde'schen Inseln, die Gallopagos, die Sandwichsinseln, die Marquesas, die Societätsinseln, die freundschaftlichen Inseln und Bourbon. Als Reihenvulcane betrachtet er: Die griechischen Inseln, die westaustralische Reihe, die Inseln von Sunda, die Reihe der Molucken und Philippinen, der japanischen und curilischen Inseln, und von Kamtschatka, die Reihe der aleutischen Inseln, der Marianen, die von Chili, Quito, den Antillen, Guatimala, von Mexico. Als zweifelhafte Centralvulcane führt er an: Den Demavend, den Ararat, den Seiban-Dagh, die tartarischen Berge östlich von China. (Buch in Pogg. Ann. 10. 1.)

154. Die Gebirgsarten, welche organische Ueberreste führen, folgen in einer bestimmten Ordnung auf einander. Damit ist aber nicht behauptet, daß alle Mineralmassen, welche man in einer Gegend in einer bestimmten Aufeinanderfolge beobachtet hat, in jeder anderen eben so angetroffen werden, und dasselbe Gestein nur in einem Gliede dieser Aufeinanderfolge vorhanden sey; es fehlen oft einzelne Glieder in einer Gegend oder werden durch andere ersetzt, und dasselbe Gestein wiederholt sich in den über einander befindlichen Schichten öfter, allein ein Gestein a mit bestimmten organischen Resten, das sich in einer Gegend unter einem Gesteine b befindet, kommt nirgends über a vor, und wenn a sich öfter wiederholt, so enthält es doch in jeder Folge andere organische Ueberreste. Die geschichteten, organische Ueberreste führenden Gebirge, werden von den Geognosten in mehrere Unterabtheilungen gebracht. Die Anhänger der Werner'schen Schule, zu welcher die Deutschen fast ausschließlich gehören, theilen sie in aufgeschwemmtes Land, in Flötz- und Uebergangsgebirge, und die neueren derselben unterscheiden selbst unter den Flötzgebirgen die jüngeren von den älteren, und nennen jene Gebirge der tertiären, diese Gebirge der secundären Formation, ja gegenwärtig sind einige sogar geneigt, die jüngsten Flötzgebirge von den späteren zu unterscheiden, und eine quaternäre Formation anzunehmen. Die Mehrzahl der englischen Gelehrten in diesem Fache, die sich überhaupt durch ihre rastlosen Bemühungen und den glücklichen Erfolg derselben ein wohl begründetes Recht erworben haben, gehört zu werden, theilen die organische Ueberreste enthaltenden Gebirge in obere (superior rocks), übermittlere (supermedial), mitt-

lere (medial) und untermittlere (submedial). Die letzteren entsprechen den Uebergangsgebirgen der Deutschen größtentheils, die oberen enthalten das aufgeschwemmte Land und die Gebirge der tertiären Formation, und die übrigen lassen sich in die anderen Formationen einreihen. — Die aufgeschwemmten Gebirge bilden da, wo sie vorkommen, die oberste Lage der Erdrinde, steigen nicht hoch auf, bestehen aus lauter Gerölle und Materien ohne feste Consistenz mit versteinerten Knochen, Conchylien und Dammerde. Die tertiären Formationen liegen zunächst unter den vorher betrachteten, bestehen aus Sand, Thon und Mergel, Gips, weißgrauem Kalke von verschiedener Consistenz (Grobkalk), Mühlstein, Nagelflue, mit Resten von See- und Landthieren, Süßwasserproducten und Conchylien. Die secundären Formationen sind einfacher in ihren Bestandtheilen, bestehen größtentheils aus Kalk und feinkörnigem Sandstein (Jurakalk, Alpenkalk, Zechstein), Kreide, Steinkohlen, und enthalten zahlreiche Ueberreste von Pflanzen und Thieren. Das Uebergangsgebirge nimmt unter den Gebirgen mit organischen Resten, da wo es mit denselben vorkommt, den untersten Platz ein, besteht aus Grauwacke (grauem, feinkörnigem, festem Sandsteine), sandigem Kalksteine ꝛc., mit Abdrücken und Resten von Thieren und Pflanzen niederer Organisation, z. B. Palmen, Ammoniten, Madreporen ꝛc.

155. Die organischen Ueberreste, welche in den Uebergangsgebirgen vorkommen, beziehen sich nur auf Holz, Schilf, Korallen, Schnecken ꝛc., überhaupt auf Thiere und Pflanzen von der niedrigsten Organisationsstufe, es sind aber oft von diesen, besonders von Fischen nur Abdrücke in Thonschiefer vorhanden. In viel größerer Menge finden sie sich in den secundären und tertiären Formationen. Da kommen zuerst in ausgebreiteten Lagern die Steinkohlen vor, für deren organischen Ursprung unzählige Gründe sprechen. Denn sie haben dieselben chemischen Bestandtheile wie die Pflanzen, wir sehen noch heut zu Tage vor unsern Augen Holz in der Erde in einen Körper (Pechkohle) übergehen, welcher große Aehnlichkeit mit der Steinkohle hat, man findet Schilfe im Schieferthon und im Sandstein in Steinkohlenmasse verwandelt. Diese Gründe zeugen nicht bloß für den organischen Ursprung der Steinkohlen überhaupt, sondern machen es höchst wahrscheinlich, daß sie verwandelte Pflanzen sind. Für Letzteres spricht auch noch der Umstand, daß in Steinkohlengebirgen die Spuren von Gewächsen desto zahlreicher werden, je näher man den Steinkohlen kommt, und daß sie in den Steinkohlen selbst aufhören, welches nur begreiflich wird, wenn man eine Verwandlung derselben in Steinkohlenmasse annimmt. Allein da bleibt noch immer die Frage zu beantworten, was das für Pflanzen sind, die in Steinkohlenmasse umgewandelt wurden, ob sie auf dem Platze gewachsen, an dem sie jetzt vorkommen, oder ob sie durch gewaltsame Transporte dahin gebracht worden, endlich, wodurch sie diese Aenderung erlitten. Das Vorkommen der Steinkohlenmasse in engen Klüften, wie sie Wer-

ner und Charpentier in der Lausitz wahrgenommen haben, das Daseyn von Steinkohlenadern im Gesteine der Steinkohlengebirge und der Umstand, daß das den Steinkohlen nächste Gestein mit ihrer Masse geschwängert ist, läßt sich kaum anders erklären, als daß man annimmt, die Materie der Steinkohlen sey einmal flüssig gewesen, und die Pflanzen seyen an demselben Platze gestanden, wo sie die Verwandlung in Kohle erlitten haben. Es ist übrigens sehr wahrscheinlich, daß diese Pflanzen Schilfe waren, weil gerade diese Pflanzen in wahre Steinkohlen verwandelt vorkommen, wie man aus ihren Abdrücken ersieht, die sich im Schieferthon und Sandsteine befinden. — Außer Steinkohlen befinden sich in diesen Gebirgen noch andere unzweideutige Ueberreste organischer Körper. Im sogenannten Muschelkalksteine trifft man eine unzählige Menge von Schalthieren in einer solchen Ordnung beisammen, wie sie sich noch jetzt im Meeresgrunde befinden. In vielen Gebirgslagern finden sich Knochen von Thieren, deren Originalien nicht mehr existiren, und von anderen, die jetzt in anderen Welttheilen leben. Merkwürdig sind überdieß noch die in Sandsteingebirgen vorkommenden Braunkohlen, welche aus vergrabenen Bäumen entstanden seyn müssen, weil neben ihnen noch halb verkohlte Baumstämme liegen, und an vielen Kohlen noch die holzige Textur auffallend bemerkt werden kann. Das aufgeschwemmte Land enthält Reste aus dem Pflanzen- und Thierreiche. Es finden sich darin ganz verschüttete Wälder mit Bäumen, die zum Theile noch auf den Wurzeln stehen, Zweige und Blätter haben, und zu Bauholz verbraucht werden können, während andere schon zum Theile in Braunkohle verwandelt oder ganz versteinert sind. Auch der Torf befindet sich in dieser Gebirgsformation, der eine aus Pflanzentheilen, aus Wurzeln, Stängelchen, Blättern zusammengesetzte; in einen schwärzlichen und brennbaren Stoff verwandelte Substanz vorstellt, der aber auch oft Gegenstände des Kunstfleißes, z. B. Münzen, Aexte, ganze Fahrzeuge enthält, zum Beweise seines geringen Alters. Von thierischen Ueberbleibseln befinden sich im aufgeschwemmten Lande besonders Knochen von Elephanten, Pferden rc. Man kann aber auch hier die Ueberreste der Thiere, die noch jetzt in dem Klima wohnen, wo sie gefunden werden, von denen unterscheiden, die einem anderen Klima eigen sind, und daher auch unter anderen klimatischen Verhältnissen an den Orten gelebt haben müssen, wo sie durch ihre Reste ihr Andenken zurückließen. Zu den letzteren gehören die Knochen von Elephanten, Rhinocerossen, Hiänen, die man bei Canstadt im Würtembergischen in der Nähe eines umgestürzten Palmenwaldes fand, und das Elephantenskelet, welches in Thüringen aus einer Tiefe von fünfzig Fuß ausgegraben wurde. Wiewohl solche Knochen fast in jedem aufgeschwemmten Lande von etwas größerer Ausdehnung vorkommen, so scheint doch hierin das asiatische Rußland allen Ländern den Rang streitig zu machen. Denn es gibt daselbst nach Pallas keinen Fluß, in dessen Bette oder an dessen Ufern nicht Knochen von Elephanten und anderen dieser Gegend jetzt fremden Thieren gefunden werden. Wiewohl diese Knochen mei-

stens einzeln, zerbrochen und abgerundet vorkommen, so trifft man doch nicht selten auch ganze Cadaver sogar mit ihren Haaren an, und zwar, was besonders zu bemerken ist, mitten unter Seemuscheln und anderen, dem Meeresboden eigenen Körpern. (*Blumenbach specimen archaeologiae telluris etc. Goettingae* 1803. *Essai sur la Géographie minéralogique des environs de Paris, par G. Cuvier et A. Brongniart. Paris* 1811.)

156. Im Innern der Gebirgsmassen findet man oft einzelne Lagerstätten, bei denen man leicht erkennt, daß sie späteren Ursprunges sind, als das Gebirge, welches sie enthält. Dieses sind die Gänge und Modificationen derselben. Man nennt überhaupt Gänge solche plattenförmige Mineralmassen, welche ein Gebirge durchschneiden und von einem Stoffe gebildet sind, der von dem des Gebirges verschieden ist. Sie laufen bald wagrecht (söhlig), bald lothrecht (seiger), bald schief (schwebend), unter verschiedenen Richtungen (Streichen) gegen die Weltgegenden und mit verschiedener Mächtigkeit, jedoch so, daß sie meistens nach unten zu an Mächtigkeit abnehmen, und daher keilförmig zusammenlaufen. Die Stoffe, welche sie ausfüllen, sind von verschiedener Natur; unter anderen kommen auch häufig Metalle vor. Diese füllen aber selten einen Gang völlig aus, sondern befinden sich meistens nur in der Mitte desselben, und sind da in ein fremdartiges Gestein, die sogenannte Gangmutter, eingeschlossen, erstrecken sich nicht durch die ganze Länge des Ganges, sondern liegen nur in Absätzen, die oft so kurz sind, daß sie wie ein Nest aussehen. Selten kommt in einem Gange ein Metall allein vor, sondern er enthält deren meistens zugleich mehrere in einer gewissen Ordnung, auch finden sich nicht alle Metalle in Gängen, wie z. B. Platin, das bis jetzt nur in Absätzen des aufgeschwemmten Landes vorkam. Nicht alle Gebirgsarten führen Gänge, einige haben sie zwar, sie sind aber nicht metallführend, an einigen kommen ganz leere (offene) Gänge vor. Der Granit ist unter den Urgebirgen am wenigsten erzführend; Gänge in ihnen enthalten nur Eisen, Zinn, Gold und Spießglanz. Die reichsten Gänge und mit den mannigfaltigsten Metallen gefüllt kommen im Gneis, Glimmerschiefer und Thonschiefer vor; besonders führt erstere Gebirgsart fast alle Metalle mit Ausnahme des Quecksilbers. Der durch die Güte und Menge des Eisens berühmte Bergbau zu Danemora in Schweden wird in Gneis, der Bau aus Kupfer zu Fahlun in Schweden wird in Glimmerschiefer betrieben, und das weltberühmte Silberbergwerk zu Potosi in Peru liefert sein reichhaltiges Product aus Gängen in Thonschiefer. Der Hauptgang daselbst soll 120 Fuß mächtig seyn, und früher in 10 Jahren 6 Mill. Mark Silber geliefert haben. — Ueber den Ursprung der Gänge herrschen verschiedene Meinungen. Nach Werner sind Gänge von oben herein durch nassen Niederschlag ausgefüllte Gebirgsspalten, und waren anfangs offene Klüfte, wie sie noch heut zu Tage in trockenen Jahren, noch mehr aber bei Erdbeben entstehen, wurden aber später von oben erfüllt durch Niederschläge, denen ähnlich, welche sich in Flötzen und

Lagern befinden, nur müßten sie etwas ruhiger als diese vor sich gegangen seyn, weil die Gänge so viele Krystalle enthalten. Nach der Ansicht Anderer entstanden die Gänge durch eine unterirdische Gewalt, und wurden auch durch von unten aufgetriebene Massen erfüllt. Nach dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse über das Entstehen der Gebirge, von welchem in der Folge die Rede seyn wird, muß man die letztere Ansicht der ersteren vorziehen, um so mehr, als die Urgebirge, welche doch so reich an Gängen sind, selbst als plutonische Producte angesehen werden müssen, und viele Gänge durch von unten wirkende Kräfte verschoben (verworfen) erscheinen. (Werner's neue Theorie der Entstehung der Gänge. Freyberg 1791. Charpentier's Beobachtungen über die Lagerstätte der Erze. Leipzig 1799.)

157. Zu den Merkwürdigkeiten des Inneren der Erde gehören auch die daselbst befindlichen Höhlen. Viele derselben vermuthet man nur aus Pendelbeobachtungen, von einer großen Anzahl hat man sich durch Augenschein überzeugt. So fand Condamine unweit Quito eine Stelle, wo die Pendelschwingungen eine Höhlung in der Erde verriethen von wenigstens $1^1/_4$ K. Meile, die wahrscheinlich mit dem Krater des nahen Vulcans Pichinka zusammenhängt. Eine ungemein große und ausgedehnte Höhle befindet sich zu Friedrichshall in Norwegen. Die Höhle Dolstien in Hervoe in Norwegen reicht tief unter den Meeresboden; denn die Beobachter, welche sie besuchten, hörten das Meer über sich brausen, und sahen doch noch einen ungeheuren Abgrund vor sich. — Die Höhlen sind vorzüglich im Kalkstein häufig; aber unter den verschiedenen Kalksteinformationen enthält sie der Urkalk selten, indeß kommen doch mehrere in der Schweiz, und das sogenannte Kitzelloch in Schlesien in diesem Gesteine vor. Am häufigsten und in der größten Ausdehnung befinden sie sich aber im tertiären Kalksteine. Zur Classe dieser Höhlen gehören: die berühmte Adelsberger Grotte in Krain, die Mixnitzerhöhle in Steiermark, die Baumannhöhle, die Höhle bei Muggendorf im Bayreut'schen, vorzüglich die Rosenmüller- und Gailenreutherhöhle, die Paolshöhle in Derbyshire, die Veteranische Höhle im Banat, die Obyhöhle in Sommersetshire, die Höhle von Antiparos, die Grotte della Berquilla in Murcia, die Jungferngrotte unweit des Ganges. Indessen gibt es auch einzelne Höhlen in Kiesel, wie z. B. die im Canton Bern, und in Basalten, unter welchen sich die Fingalshöhle auf der Insel Staffa mit ihren Basaltsäulen auszeichnet. Viele Höhlen enthalten Wasser, wie z. B. die Cueva di Guacharo, die Höhle unweit Ingleton in Yorkshire, die bei Urach in Schwaben; aus einigen strömt selbst mitten im Sommer ein eiskalter Luftstrom, der wahrscheinlich durch Verdünstung des Wassers oder durch Eismassen so sehr abgekühlt wird. Von der Art ist die berühmte Höhle bei Scelicze in Ungarn, jene bei Besançon, die Höhle im Monte Eoli bei Terni; aus anderen kommt wieder erhitzte Luft, wie z. B. aus den Sudatori bei S. Germano im Neapolitanischen; wieder andere enthalten erstickende Gasarten, vorzüglich Kohlensäuregas oder Stickgas, wie die Hundsgrotte bei Puz-

zuoli und die Sibyllenhöhle im Neapolitanischen, die Höhle auf Antiparos. — Es befinden sich in den meisten Kalkhöhlen Knochen von vierfüßigen Landthieren, die abgelöset, zerstreut, zum Theile zerbrochen und zersetzt herumliegen, von einer leicht zerreiblichen meistens schwärzlichen Erde umgeben sind, und oft an die Wände der Höhle angewachsen erscheinen. Diese Knochen sind im Umfange von mehr als zweihundert Meilen stets dieselben und gehören meistens zu Bären, die nun nicht mehr leben; einige rühren aber auch von einer Art Hiäne her, andere, aber wenige, gehören zu einer Gattung des Tieger- oder Hundgeschlechtes, und die wenigsten zu kleinen Thieren, wie z. B. Füchsen, Iltissen.

Am reichsten an solchen Resten ist die Gailenreuther Höhle im Bambergischen. Eine Menge Knochen liegen in den inneren Gewölben dieser Grotte frei da, die meisten sind aber in der lockeren Erde des Bodens vergraben, die selbst aus vermoderten thierischen Resten besteht, und im Feuer einen widrigen Geruch verbreitet. Beim Nachgraben fand man bis zu einer Tiefe von 6 Fuß nichts als Knochen und Moder, aber auch in den Seitenwänden von 18—20 Fuß über dem Boden trifft man noch viele an. In den vorderen Theilen der Höhle ist die Luft noch ziemlich erträglich, in den hinteren fängt sie aber an dumpfig zu werden, und wenn man da einen Knochen zerschlägt, entwickelt sich aus ihm ein scharfer, betäubender Geruch. (Ritter's Beschreibung der größten und merkwürdigsten Höhlen. Hamburg 1801.)

Viertes Kapitel.

Veränderungen der Erde.

158. Es kann wohl Niemand glauben, daß die Erde in dem Zustande, in welchem sie sich gegenwärtig befindet, aus den Händen des Schöpfers gekommen sey, da wir täglich Veränderungen an ihr bemerken, von vielen anderen authentische Nachrichten vorhanden sind, und die unzähligen Ueberbleibsel der organischen Körper, die Niederlagen verschütteter Wälder, abgelagerte Trümmer ehemaliger Gebirge, die Spuren verloschener Vulcane, die Gestalt der Thäler, die Formen vieler Gebirge und der Seeküsten u. a. hinreichende Beweise eines früheren, von dem gegenwärtigen verschiedenen Zustandes enthalten.

159. Der Fleiß der Menschen arbeitet unablässig an der Umstaltung der Erdoberfläche, und selbst Thiere werden durch den Trieb der Selbsterhaltung gezwungen, zu demselben Zwecke hinzuarbeiten. So z. B. bauen die Madreporen fortwährend ihre Korallen und erhöhen dadurch den Meeresboden; wenn auch die Wirkungen ihrer Thätigkeit nicht so groß sind, wie man einst geglaubt hat, indem diese Thiere weder in sehr großen Tiefen noch über die See hinaus arbeiten können, so würden sie doch einzelne Meere für die Schifffahrt ganz untauglich machen, wenn nicht Wellen und Strömungen ihre Gehäuse wieder zum Theile zerstörten und fortführten. Auch die

Pflanzenwelt trägt zur Umstaltung der Erdoberfläche das Ihrige bei. Fortwährend geht die Verwesung und die Bildung neuer Dammerde vor sich, die den Pflanzen wieder zur Nahrung dient. Viele im Wasser wachsende Gewächse von niederer Organisation, wie z. B. Conserven, werden zerstört und in Torf verwandelt. Nach von Marum's Erfahrungen bildet sich im Bassin von Harlem innerhalb fünf Jahren ein beinahe 3 Fuß tiefes Torflager.

160. Die Luft trägt sowohl im ruhigen als im bewegten Zustande viel zur Umstaltung der Erde bei. Durch ihren Einfluß verwittern viele Stoffe, und nicht selten hat eine Bergspitze ein so zerrissenes Aussehen deßhalb, weil die Verwitterung fortwährend an ihr arbeitet, und einige Stellen mehr angreift als andere; viele nun isolirt daliegende Felsenblöcke mögen Ueberreste verwitterter Gebirge seyn. D'Aubuisson sah in Schottland an vielen Stellen Basaltsäulen isolirt in die Höhe stehen, die doch als vulcanische Producte bei ihrem Entstehen eine feste Stütze haben mußten. Durch diese Wirkungen werden die Gebirge erniedrigt und die Thäler erhöht. Die bewegte Luft, der Wind, bringt besonders in solchen Gegenden, die mit Flugsand bedeckt sind, nicht unbedeutende Wirkungen hervor. Diesen Sandwehen ist es zuzuschreiben, daß in Sandwüsten die Oasen nach und nach die traurige Gestalt der Wüste annehmen, daß die Wüsten ihr Gebiet allmälig vergrößern, wie man auf der Karavanenstraße zwischen Cairo und Syrien am westlichen Ufer des Euphrat ꝛc. zu bemerken glaubt.

161. Noch größer sind die Wirkungen des Wassers. Das Meer wirkt durch alle seine Bewegungen zerstörend und erweiternd auf die Ufer. An einigen Gegenden erobert es mit langsamen Fortschritten einen Theil des festen Landes, an anderen tritt es wieder zurück, und läßt den Boden trocken hinter sich, ohne jedoch über das Festland ein größeres Uebergewicht zu gewinnen, als es bereits seit Langem besitzt. So findet man an der dalmatischen Küste Bauten im Meere, die offenbar auf trockenem Lande angelegt wurden, dafür liegen aber anderwärts viele Städte, die einst Seehäfen waren, ziemlich weit vom Meere entfernt. Das Ansetzen neuen Landes wird besonders durch Flüsse und Bäche bewirkt, die Steine und Erde von den höher gelegenen Gegenden ins Meer führen, und sie an den Mündungen liegen lassen. Sie spülen auch dort, wo ihr Lauf schnell ist, das Ufer ab, nehmen Erde, Sand und Steine streckenweise mit sich, setzen sie wieder ab, wenn ihre Geschwindigkeit vermindert wird, machen dadurch ihr Bett seichter, dehnen sich mehr in die Breite aus, oder ändern gar ihren Lauf. Nach Horner führt der Rhein innerhalb 24 St. nicht weniger als 445981 Kubik-Fuß fester Theilchen bei Bonn vorbei. Manche Flüsse schwellen durch häufigen Regen an, überschwemmen das feste Land, und erhöhen es durch den Schlamm, den sie bei ihrem langsamen Rückzuge zurücklassen. In solchem Sinne nennt auch Herodot Unterägypten ein Geschenk des Nils. Wo sich Gewässer unter der Erde verlieren, arbeiten sie beständig an der Un-

tergrabung des festen Landes, und bewirken dadurch die sogenannten Erdfälle, welche in Gebirgsgegenden, wo Erdmassen auf platten Felsen aufsitzen, nichts Seltenes sind. So versank 1585 das Dorf Mottingham bei Kent, 1618 stürzte eine Felsenwand des Corto auf den Flecken Plürs und das Dorf Scilano, 1806 wurden durch einen Bergsturz des Roßberges mehrere Ortschaften mit Schutt bedeckt, 1820 glitt das Dorf Stran in Böhmen an der Eger, welches auf einer, 1 Kl. hohen Lettenschichte am Abhange eines Berges erbaut war, in die Eger hinab. Auch der beim Dorfe Barbis am Harze im J. 1825 Statt gehabte Erdfall scheint von der Untergrabung des Bodens durch Wasser herzurühren. — Mit Hülfe der Temperatur sowohl der höheren als niederen bewirkt das Wasser auf der Erde ganz eigene Erscheinungen. Fällt es als Schnee aus der Atmosphäre herab, und häuft es sich an hohen Gebirgen an; so entstehen manchmal die sehr gefährlichen Schneestürze und Lawinen, welche ganze Ortschaften verschütten, Flußbetten verdämmen, und dadurch auf entfernte Gegenden wirken. Dringt das atm. Wasser in die Ritzen der Berge ein und gefriert darin, so dehnt es sich mit unglaublicher Kraft aus, zersprengt das festeste Gestein oder treibt es wenigstens aus einander, und befördert dadurch die Einwirkung anderer Ursachen.

162. Große Veränderungen gehen ohne Zweifel sowohl an der Oberfläche als im Inneren der Erde durch die Wirkung der electrischen Ströme vor sich, welche durch die Berührung so differenter Stoffe, wie sie den Erdkörper ausmachen, bedingt werden. Das Daseyn solcher Ströme in den Erzgängen ist wiederholt nachgewiesen worden, und von der mächtigen chemischen Wirksamkeit derselben kann die Physik hinlängliche Beweise aufzählen. Becquerel hat durch schwache electrische Ströme mehrere Mineralkörper erzeugt, die man sonst nicht künstlich zu erzeugen vermochte, und auch von mehreren in der Erde vorkommenden und sich unabläßig forterzeugenden Mineralien den electrischen Ursprung nachgewiesen. (*Ann. de Chim.* 41. 5; 54. 145. Zeitsch. 6. 351.)

163. Schneller als durch die hier genannten Kräfte erfolgen große Veränderungen der Erde durch vulcanische Ausbrüche und durch Erdbeben. Wiewohl in den Vulcanen die innere Thätigkeit ohne Zweifel ununterbrochen fortdauert, so erfolgen doch nur manchmal kräftigere Ausbrüche. Die Vorboten derselben sind Rauchsäulen, die sich mit sehr großer Geschwindigkeit aus dem Krater des Vulcans erheben, und meistens aus Wasserdunst, Schwefel, Wasserstoffgas, kohlensaurem Gas bestehen, manchmal sogar auch Schwefelsäure und Salzsäure mit sich führen, und nicht selten ungeheure Regengüsse verursachen. So wie dieser Rauch häufiger wird, führt er auch Asche mit sich, und bekommt dadurch ein weißliches Ansehen, ja die Asche erscheint oft in so großer Menge, daß dadurch die benachbarten Gegenden völlig verfinstert werden. Winde führen sie in Gegenden, welche viele Meilen weit vom Vulcane entfernt sind. So wird erzählt, daß man beim Ausbruche des Vesuvs im J. 1794 vier Meilen weit selbst

bei Tage nur mit Fackeln herumgehen konnte, und daß die ganze, 50 Meilen weit entfernte Gegend von Calabrien ganz in Wolken gehüllt war. Auf die Asche folgt gewöhnlich feiner Sand. Dieser wird von vielen Vulcanen in so großer Menge ausgeworfen, daß er bei manchen, wie z. B. beim Aetna, die Hauptmasse des Berges bildet, aus dem der Ausbruch erfolgt. Zu diesem kommen noch Schlacken von Materien, welche im vulcanischen Herde geschmolzen und emporgeschleudert werden, dabei erhärten, und in Gestalt abgerundeter Massen (vulcanische Bomben) herabfallen, wohl auch ungeschmolzene Steine, die wahrscheinlich von den Wänden der inneren Höhlungen losgerissen werden. Die Kraft, mit der diese fortgeschleudert werden, ist ungeheuer. Der Vesuv soll sie auf 3600 F. über den Krater in die Höhe treiben, und bei einem Ausbruche des Cotopaxi in Südamerika soll ein Felsenstück von 900 Kubikfuß 3 Meilen weit geschleudert worden seyn. Mit minderer Kraft dringt die Lava hervor. Sie steigt selten bei großen Vulcanen bis zum eigentlichen Krater des Vulcans, sondern sucht sich durch Druck oder durch Schmelzung der Seitenwände einen Weg, fährt da schnell, wie geschmolzenes Metall hervor, gräbt sich im Sande, der die Seiten des Berges umgibt, ein Bett aus, und bewegt sich vorwärts. Wiewohl die Geschwindigkeit, mit der sie fortfließt, von der Neigung des Bodens und von der Zähheit und Menge der Masse abhängt, so ist sie doch nur selten groß. Auf ebenem Boden geht sie kaum in einer Stunde um einige Schritte vorwärts. Dabei wird sie immer zäher und nimmt oft kaum, wenn sie auch noch fließt, von einem hineingeworfenen Steine Eindrücke an. Hamilton durchging sogar einmal einen 20 Schritte breiten, noch im Flusse begriffenen Strom. Deßungeachtet ist sie nur mit einer harten Rinde überzogen, im Inneren glüht sie noch und ist flüssig, ja man erzählt von Strömen, die nach Jahren noch im Inneren flüssig waren. Spallanzani ging über Lava, die seit einem Jahre nicht mehr floß, aber im Inneren noch einen hineingestoßenen Stock anzündete, und Hamilton erfuhr etwas Aehnliches bei der Lava des Vesuvs, die vor 3½ Jahren ausgeflossen war. Man ersieht wohl hieraus, daß die Lava anfänglich eine ungemein hohe Temperatur haben muß, und wirklich fand man, daß Flintensteine, welche von einem Lavastrome eingehüllt wurden, an der Oberfläche geschmolzen und verglaset, und daß Stücke Eisen im Inneren krystallisirt waren. Außer den hier erwähnten Stoffen werfen die Vulcane noch Ströme heißen Wassers aus; vorzüglich verbreiten die amerikanischen Vulcane oft dadurch Ueberschwemmungen rings umher. Ein Theil dieses Wassers mag auch wohl vom geschmolzenen Schnee kommen, der die Gipfel mancher Vulcane bedeckt. — Alle diese Erscheinungen finden bei einigen vulcanischen Ausbrüchen Statt, während sich bei anderen nur einige derselben ereignen. So haben die Vulcane in Amerika Cotopaxi, Pichincha, Turgurahua seit Menschengedenken keine wahre Lava ausgeworfen, wiewohl sie dieses ehemals gethan haben mögen, weil sich in ihrer Nähe Lava befindet, sondern bloß Asche, Schlacken und

Steine, Wasser und Schlamm, wahrscheinlich, weil sich die Lava nicht bis zu ihrem Krater erheben und die ungeheuer dicken Seitenwände nicht schmelzen kann; die Vulcane in Peru und Quito verheeren das Land überhaupt immer nur durch Wasser und Schlammauswürfe. Diese Wässer führen sogar manchmal lebendige Fische von derselben Art, wie sie in den benachbarten Bächen leben. Der Vulcan von Macaluba bei Girgenti wirft nur Thon und Wasser aus; dasselbe thun auch einige Vulcane in der Umgebung von Modena, auf den Inseln Tamom, Java 2c.

164. Die Ruhezeit eines Vulcans scheint im Allgemeinen mit der Höhe seines Kraters im geraden Verhältnisse zu stehen. So brennt der niedere Stromboli fast immer, seltener geschehen Ausbrüche des höheren Vesuvs, noch seltener die des noch höheren Aetna. Der hohe Pick auf Teneriffa hatte in 92 Jahren nur einen Ausbruch, während der Vesuv 16mal wüthete. Allein die Zeit von einem Ausbruche zum andern ist bei demselben Vulcane keineswegs immer dieselbe, oft folgen mehrere Ausbrüche schnell auf einander, oft unterbleiben sie ungewöhnlich lange. So schlummerte der Vesuv seit undenklichen Zeiten, als er unter Titus plötzlich wieder erwachte, und die Städte Pompeji, Herculanum und Stabiä vergrub. Die Bewohner von Catanea hielten die Ausbrüche des Aetna, wovon die Geschichte erzählte, für Fabel, bis sie durch einen Ausbruch, der ihre Stadt zerstörte, die traurige Ueberzeugung vom Gegentheile gewannen. Ueberhaupt ist die Ruhe eines Vulcans meistens nur scheinbar; denn wenn auch keine größeren Katastrophen erfolgen, so geht es doch im Inneren sehr thätig zu, es steigt Rauch auf, man hört ein inneres Getöse 2c. Es scheint im Ganzen die vulcanische Thätigkeit der Erde im Abnehmen zu seyn.

Merkwürdig ist, was Spallanzani vom Aetna erzählt, in dessen Krater er im Jahre 1788 hineingehen konnte, weil derselbe ganz ruhig war. Er bemerkte in der Tiefe eine Oeffnung von etwa 30 Fuß, aus der sich eine Rauchwolke erhob, er sah, als der Wind diese Wolke seitwärts trieb, in der Tiefe der Oeffnung eine flüssige entzündete Masse, die immer leicht aufwallte, fiel und stieg. Auf dem Gipfel des Stromboli sah er gar die Bewegungen der Lava sehr deutlich. Sie glich geschmolzener Bronze, sank und stieg, und wurde an der Oberfläche von großen Blasen aufgebläht, die beim Zerplatzen ein Donner ähnliches Geräusch machten.

165. Die vulcanischen Herde müssen im Inneren der Erde von sehr beträchtlichem Umfange seyn. Dieses beweist die ungemeine Menge der Stoffe, die oft bei einer einzigen Eruption hervorgetrieben wird, und der Umstand, daß die meisten Vulcane aus vulcanischer Masse bestehen. So floß aus dem Aetna i. J. 1699 so viel Lava hervor, daß daraus vier Vesuve hätten gebildet werden können, die Asche gar nicht mitgerechnet. Es ist auch sehr wahrscheinlich, daß die Werkstätte der meisten Vulcane mit einander in Verbindung stehen; denn oft treffen ihre sonst nicht so häufigen Ausbrüche zugleich ein, und manchmal wechseln entfernte Vulcane mit einander ab. So brachen i. J. 1769

der Aetna und mit ihm zugleich die Vulcane auf den liparischen Inseln aus, die Vulcane Islands und Kamtschatkas tobten oft zugleich, und i. J. 1693 versank im großen indischen Ocean die Insel Sorca in Folge eines Ausbruches des dortigen Vulcans an demselben Tage, an welchem der Aetna am furchtbarsten wüthete. Der Hekla und Vesuv wechseln oft mit einander ab. Es ist kaum zu bezweifeln, daß der Hauptsitz der vulcanischen Thätigkeiten tief im Inneren der Erde in der Region der Urgebirge sey. Denn die vulcanischen Producte enthalten fast durchaus dieselben Bestandtheile, wie die Urgebirge, ja es werden oft von Vulcanen unveränderte Stücke von Urgebirgsmassen ausgeworfen; endlich wäre es sonst nicht begreiflich, wie so entfernte Vulcane mit einander communiciren, und wie ein Vulcan so viel Masse auswerfen könnte.

166. Daß bei den Phänomenen der vulcanischen Ausbrüche expansible stark erhitzte Massen hauptsächlich thätig sind, daran ist kaum zu zweifeln; daß unter diesen wieder die Wasserdünste eine große Rolle spielen, zeigt das Hervordringen derselben aus den Schlünden der Vulcane, und der Umstand, daß es wohl im Inneren der Erde, besonders in so großer Tiefe, wo sich der vulcanische Herd befinden mag, an Wasser nicht gebrechen kann, ohne daß dazu gerade die Nähe des Meeres nöthig ist. Allein es handelt sich vorzüglich darum, wodurch die Erhitzung entstehe, welche Dämpfe und eingesperrte Luftarten erzeugt, und das innere Gestein eines Vulcans schmilzt. Die äußere Luft kann keinen wesentlichen Antheil daran nehmen, weil diese da nicht eindringen kann, wo so stark condensirte Gasarten mit solcher Gewalt hervorkommen. Nach dem jetzigen Standpunkte der Naturlehre kann diese Erhitzung erklärt werden: 1) durch die innere electrische Thätigkeit der Erde, vorzüglich durch jene, welche die Berührung ihrer ungleichartigen Bestandtheile erregt, 2) durch chemisches Einwirken der Stoffe auf einander, besonders des Wassers und der metallinischen Grundlagen der Erden, welche im Inneren der Erde wahrscheinlich noch im reinen Zustande vorhanden sind. 3) Kann sich die Erde noch von der Urzeit her in ihrem Inneren im flüssigen, geschmolzenen Zustande befinden. — Eine electrische Thätigkeit im Inneren der Erde von solcher Intensität, wie sie zu den hier in Rede stehenden Phänomenen erfordert wird, dürfte sich wohl schwerlich nachweisen lassen; eine Entzündung brennbarer Massen (z. B. der Schwefelkiese) im Inneren der Erde durch chemische Wirkung reicht nicht aus zur Erklärung aller bei vulcanischen Ausbrüchen vorkommenden Phänomene, wo die Feuererscheinungen bei weitem nicht die Hauptsache sind; es ist nicht begreiflich, wie der innere metallische Erdkern immer noch mit Wasser in Berührung kommen kann, da doch die einmal gebildete Oxydrinde den Zutritt desselben hindern muß. Demnach bleibt nur die dritte Ursache übrig, und aus dieser lassen sich in der That alle vulcanischen Erscheinungen vollkommen erklären. Gelangt nämlich Wasser in jene Tiefen der Erdrinde, wo Glühhitze herrscht, so geht es in sehr expansible Dünste über, und wirkt auch auf die daselbst be-

findlichen oxydirbaren Körper (z. B. Eisen), es wird zersetzt, sein Wasserstoff nimmt Gasform an, und dieses Gas, so wie jene Dämpfe, sind das Haupttagens bei den vulcanischen Eruptionen gerade so, wie sie es bei Pulverexplosionen sind. (Ueber Vulcane siehe: Hamilton's Beobachtungen über den Vesuv, den Aetna und über andere Vulcane, aus d. Engl. Berlin 1763. Desselben neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens und am Rhein. Frankfurt und Leipzig 1783. Dolomieu, Reise nach den liparischen Inseln. Aus d. Franz. Leipzig 1783. Spallanzani, Reise nach den beiden Sicilien. Leipzig 1795. D'Aubuisson's Geognosie. Dresden 1821. I. Bd. S. 150 u. f. Ueber den Bau und die Wirkungsart der Vulcane von A. Humboldt. Berlin 1823. *Scrope on the volcanos. London* 1825. Buch in Pogg. Ann. 10. 169. Davy in Zeitsch. 6. 222.)

167. Mit den Ausbrüchen der Vulcane stehen die Erdbeben in Verbindung. Diese sind horizontale, zuweilen wirbelnde Schwingungen des Bodens, die in unbestimmten Zwischenräumen nach verschiedenen Richtungen, mit großer aber meßbarer Geschwindigkeit geschehen, und oft von starken, senkrecht in die Höhe gehenden Stößen begleitet sind. Dabei spaltet sich oft mit einem unterirdischen Getöse die Erde, es dringen Wasser und entzündete, schwefelig riechende Dämpfe hervor, das Meer und die Atmosphäre werden unruhig, Gebäude stürzen ein und begraben die unglücklichen Bewohner unter ihren Trümmern, neue Seen werden gebildet, alte ausgetrocknet, Berge aus dem Meere und auf dem flachen Lande in die Höhe getrieben, schon vorhandene verschlungen, und so ganze Gegenden verwüstet und umgestaltet. — Die Erdbeben sind an keine Jahres- oder Tageszeit gebunden, sie ereignen sich in kalten und warmen, nassen und trockenen Jahren, und bei jedem Alter des Mondes. Meistens sieht man plötzliche Stürme, große Unruhe des Meeres und der Seen, unregelmäßiges Fließen der Quellen, ein dumpfes unterirdisches Getöse, Unruhe der Thiere, trübe Beschaffenheit der Luft als Vorboten dieses traurigen Ereignisses an, doch kann man keines von allen diesen für ein untrügliches Vorzeichen halten, weil sie eintreten, ohne daß ein Erdbeben darauf erfolgt und manche Erdbeben ohne sie erfolgen. — Die Ursache der Erdbeben ist gewiß dieselbe, welche in Vulcanen vorzüglich und zwar concentrirt thätig ist. Es ist aber nicht nöthig, anzunehmen, daß überall, wo man Stöße verspürt, die Ursache der Erdbeben unmittelbar wirke, indem sich die Erschütterungen nach Art des Schalles fortpflanzen können. (Kries, von den Ursachen der Erdbeben. Gekrönte Preisschrift. Leipzig 1826.)

168. So wirksam auch die bisher besprochenen, auf beständige Veränderung der Erdoberfläche hinarbeitenden Kräfte sind, und wie sehr sich auch durch die Länge der Zeit ihre Wirkungen anhäufen mögen; so können wir doch daraus nicht alle Umwälzungen der Erde ableiten, von denen uns die gegenwärtige Beschaffenheit der Erdrinde die unumstößlichsten Beweise liefert. Wie ausgedehnt, hoch und an-

haltend müßten jene Ueberschwemmungen gewesen seyn, von welchen Conchylien und andere Wasserthiere in mehreren fußhohen Lagern auf den Gipfeln der höchsten Berge abgesetzt wurden, wie oft müßten sich derlei Ueberschwemmungen wiederholt haben, wenn von ihnen so viele, durch fremdartige Zwischenlager getrennte Ablagerungen organischer Reste herrühren sollten, und wie wäre es begreiflich, daß sich hie und da an höheren Stellen mehr derlei Absätze gebildet haben, als an tiefer liegenden? Es gibt uns aber der Bau der Erde selbst den Fingerzeig, wo wir die Quelle so umfassender Veränderungen derselben zu suchen haben. Die abgerundete, am Aequator durch die Schwungkraft herausgetriebene Gestalt der Erde beweiset hinreichend, daß sich dieselbe einst in einem flüssigen Zustande befunden habe, und die krystallinische Beschaffenheit der untersten bekannten Lagen der Erdrinde, nämlich der Urgebirge, ihr Eindringen zwischen andere Gebirgsarten &c., zeugen für den Ursprung derselben aus einer geschmolzenen Masse, und begründen die Annahme, der flüssige Zustand sey nicht durch Einwirkung eines chemischen Auflösungsmittels, sondern durch Hitze hervorgebracht worden. Damit stimmt auch die (später weiter anzuführende) Erfahrung vollkommen überein, daß noch gegenwärtig die Erde eine ihr eigenthümliche Temperatur besitze, welche von außen gegen innen zunimmt, und berechtiget zu der weiteren Folgerung, daß sich der Erdkern noch gegenwärtig in einem geschmolzenen Zustande befinde, und nur mit einer festen Kruste überzogen sey. Im geschmolzenen Zustande mußte wohl die Erde ohne Erhöhungen und Vertiefungen seyn, und das etwa auf ihr befindliche Wasser konnte bei so hoher Temperatur nur unter einem mächtigen Drucke bestehen, zu dessen Erzeugung die vorhandene heiße Dunstmasse selbst das Meiste beitragen konnte. So wie aber der Proceß des Festwerdens begann, mußten sich durch den Krystallisationsproceß Erhöhungen, mithin auch Vertiefungen bilden, wie wir dieses an geschmolzenen, gestehenden Massen so häufig im Kleinen bemerken. Somit liegt der Grund zur Entstehung der Unebenheiten der Erde im Abnehmen ihrer Temperatur. Die Urgebirge mögen das Product des ersten Krystallisationsprozesses gewesen seyn, auf welche sich dann die späteren (Flötz-) Gebirge aus dem Wasser absetzten.

169. Die Beschaffenheit, Lagerungsweise, Menge und Mannigfaltigkeit der in Flötzgebirgen vorkommenden, organischen Ueberreste und die Lagerung der Schichten dieser Formationen zeigen deutlich, daß hier mehr als ein ruhiges Absetzen aus Wasser im Spiele gewesen sey. Die Schichten dieser Gebirge befinden sich in ebenen Gegenden in fast horizontaler Lage, in der Nähe von bergigen Gegenden liegen diese Schichten geneigt, an den Abhängen der Berge beinahe oder völlig vertical. Wären solche Schichten in verticaler Lage vom Wasser abgesetzt worden, etwa so, wie sich noch heut zu Tage Stalactiten an verticalen Wänden aus Wasser abschneiden; so müßten diese Lagen, wenn sie an zwei Bergen vorhanden sind, in allen Zwischenpunkten in gleicher Höhe gefunden werden. Dieses ist aber nicht der Fall. Die

Kalkschichten des hohen Buet in Savoyen und des Montperdu sind gleichzeitige Formationen mit jenen an den Küsten des Canals, und doch erstrecken sich solche Formationen im nördlichen Frankreich nicht über 600 F. Ferner liegen nach Saussure's Beobachtungen die eiförmigen Kieselgeschiebe, welche sich oft in den Flötzgebirgen befinden, dort wo die Schichten eine horizontale Lage haben, stets so, daß ihre große Axe horizontal ist, mithin in ihrer stabilsten Lage, wo aber die Erdschichten geneigt sind, da sind auch die großen Axen aller Geschiebe, welche in der Richtung dieser Neigung liegen, eben so geneigt und nur jene trifft man noch mit der großen Axe in horizontaler Lage an, bei denen diese Axe mit der Ebene der Neigung einen rechten Winkel machen. Diese Gründe machen es höchst wahrscheinlich, daß selbst, nachdem die Erdkruste schon gebildet war, noch durch den fortgesetzten Erstarrungsproceß neue Berge aus dem Inneren der Erde emporgestiegen seyen und die Kruste durchbrochen haben, ja daß solche Emporhebungen noch gegenwärtig Statt finden. Nach Pöppig sah man in der Südsee im Jahre 1825 einen schwarzen, vegetationsleeren Fels, der einige Fuß über das Wasser hervorragte. Er bestand aus einem breiten Ringe von 800 Schritt Durchmesser, der in der Mitte einen kleinen Teich hatte; aus mehreren Rissen des Ringes stieg Rauch, das Wasser war in der Nähe heiß, und selbst noch in der Entfernung von 4 engl. Meilen um 10—15° F. wärmer als anderwärts in gleicher Breite. Der Krater fiel so schnell ab, daß man schon bei 100 Faden Entfernung keinen Grund mehr finden konnte. Auf der flachen und fruchtbaren azorischen Insel St. Maria fand man nach Jahresfrist alles umgeworfen und zerstört, und statt der Fläche einen 2000 F. hohen Berg, mit einem Krater von 15 engl. Meilen im Durchmesser. Im Krater von Astruin erheben sich gegen 200 F hohe Hügel aus Trachyt ohne Lava, fest und zusammenhängend. Der Boden des Kraters von Santorin erhebt sich von Jahr zu Jahr mehr, und ist jetzt schon der Meeresfläche nahe, während er früher über 600 F. unter derselben lag. Diese Krater sind aber keine Vulcane, und selbst die der jetzt noch thätigen Vulcane können nicht durch Anhäufen von Lavaströmen entstanden, sondern müssen Erhebungskrater seyn, weil bei denselben die Lava eine zusammenhängende, nur hie und da durch Klüfte unterbrochene Masse bildet, und nach Buch und Beaumont's Messungen Laven einen solchen Zusammenhang nur behalten, wo sie über einen unter $4^1/_2°$ geneigten Abhang fließen. Die Hypothese der Emporhebung hat so viel innere Wahrscheinlichkeit, und wird von so vielen äußeren Gründen unterstützt, daß sie gegenwärtig fast allgemein von Geologen angenommen wird. Man kann daraus nicht bloß das Vorkommen dicker Muschellagen auf den Gipfeln der höchsten Berge leicht begreifen, da diese einst tief liegender Meeresboden waren, sondern auch das relative Alter der einzelnen Gebirge nachweisen, wie dieses Beaumont mit Glück an vielen Gebirgen gethan hat. Denn es ist klar, daß solche Emporhebungen zu verschiedenen Zeiten eingetreten seyn können, und daß jene Flötzgebirge, deren Schichten

an den Abhängen der Gebirge nicht in horizontaler Lage vorkommen, bei der Erhebung der Gebirge schon vorhanden waren, mithin älter seyen als diese; jene aber, die sich in horizontaler Lage bis zum Fuße der Gebirge erstrecken, müssen von jüngerer Bildung seyn, als die Gebirge. Diesen Kriterien gemäß sind das sächsische Erzgebirg, der Côte d'Or in Burgund, und der Mont Pilas in Forez unter den von Beaumont untersuchten Gebirgen die ältesten; weit jünger ist das Bergsystem der Pyrenäen und Apenninen, noch jünger jenes der östlichen Alpen mit dem Montblanc. Der Hauptgebirgsstock der Alpen, mehrere Ketten der Provence, der Balkan, der Caucasus, die Himalayagebirge und der Atlas sind viel späteren Ursprunges. Merkwürdig ist es, daß die gleichzeitig entstandenen Gebirge stets in einem größten Kreise der Erde liegen, und daß demnach auch die Punkte des kleinsten Widerstandes dieselbe Lage haben mußten. Diesen Umstand benützte Beaumont, um darnach das Alter jener Gebirgsketten zu bestimmen, an denen er den Prüfstein des oben angegebenen directen Kennzeichens ihres Alters nicht anlegen konnte, und so ist er dahin gelangt, dreizehn einzelne Emporhebungen anzunehmen. (Humboldt in Pogg. Ann. 25. 1; v. Buch ebend. 37. 169.)

170. Noch keine der in ungeheurer Anzahl aufgestellten geologischen Hypothesen hat sich so reich an leichten und naturgemäßen Folgerungen dargestellt, wie die eben genannte. Es ist klar, daß die Emporhebung eines Gebirges aus dem Inneren der Erde desto mehr Kraft fordern, aber auch ein desto größeres Product liefern müsse, je dicker die bereits gebildete Erdkruste zur Zeit dieser Katastrophe war, mithin je später sich dieselbe ereignete, und in der That sind die jüngeren Gebirge auch die höchsten. Daß bei solchen Ereignissen ein vielfaches Bersten und eine Theilung der emporgehobenen Massen eintreten mußte, ist nicht zu bezweifeln, und daher mögen viele Thäler ihren Ursprung haben. Man braucht nun nicht mehr zu fragen, wie denn die im Jura angetroffenen Granitstücke von den Alpen durch das Thal der Aar an ihren jetzigen Platz kommen konnten; denn das Juragebirge ist jünger als die Alpen und das Thal der Aar. Daß an der Stelle solcher gewaltiger Naturereignisse Thiere schnell und in Masse zu Grunde gehen mußten, ist leicht zu errathen, und daraus begreift man wohl, warum man ganze Nester von Thieren in Lagen antrifft, die deutlich zeigen, daß dieselben eines schnellen Todes gestorben seyen, wie z. B. Fische, die ganz ausgestreckt, oft noch den Raub festhaltend oder mit der jüngst verschlungenen Beute im Magen, angetroffen werden. Erhebungen des festen Landes aus dem Meere mußten nothwendig das Gleichgewicht des Wassers stören, weit ausgedehnte Ueberschwemmungen hervorbringen, und hiermit mittelbar die Wirkungen erzeugen, welche mit Ueberschwemmungen stets verbunden sind. Daß die mit der fortschreitenden Erkältung der Erde nothwendig verbundene Rückkehr des bei ihrer ursprünglich hohen Temperatur in Dünste verwandelten Wassers zu ähnlichen Catastrophen den Grund legen konnte, ist einleuchtend. Das Factum der Emporhebungen der

Urgebirge läßt nun wohl begreifen, daß die Bildung der Gänge durch Emporsteigen der fremdartigen Massen, nicht durch eine Infiltration von oben erfolgt seyn müsse.

(Physische Erdbeschreibung von Mitterbacher. Wien 1750. Kant's physische Geographie. Königsberg 1802. Bode's Kenntniß der Erdkugel. Berlin 1820. Förster's Einleitung in die allgemeine Erdkunde. Berlin 1820. Allgemeine physikalische Erdbeschreibung, von Hochstetter. Stuttgart 1823. Band 2 und 3. Gemälde der phys. Welt von J. G. Sommer. Prag 1818—1825. Physikalische Geographie von Fr. Hoffmann. Berlin 1837. Gehler's Wörterb. neu bearb. Artikel: Erde (Erdkruste). Lehrbuch der mathem. u. phys. Geographie von Dr. J. C. Schmidt. 2 Bde. Göttingen 1830. Handbuch der mathematischen und physischen Geographie nebst Atmosphärologie von Dr. G. W. Muncke. Heidelberg 1830. Handbuch der physikalischen Erdbeschreibung von H. H. Link. Berlin 1826. Geschichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche von Hoff. Gotha 1822. *De la Metherie leçons de Géologie. Paris* 1816. Bakewell Einleitung in die Geologie ꝛc. Freiberg 1815. Reichetzer Anleitung zur Geognosie. Wien 1821. D'Aubuisson Geognosie. Dresden 1821. Neues System der Geologie, von A. Ure 1830. *Elémens de Géologie par J. D'Omelius d'Halloy. Paris* 1831. *A. Geological Manual by H. De la Béche. London* 1831. Ins Deutsche übersetzt von Dechen, unter dem Titel: Handbuch der Geognosie von *De la Béche.* Berlin 1832. *A System of Geology by J. Macculloc. London* 1831. *Principles of Geology by Ch. Lyell. London* 1830.)

Dritter Abschnitt.

Meteorologie.

171. Die Atmosphäre unserer Erde ist beständig inneren Bewegungen und Veränderungen unterworfen, unaufhörlich wird das Gleichgewicht in ihr gestört, weil bald dort, bald da eine Aenderung in der Ausdehnsamkeit der Luft vorgeht und durch die ununterbrochen vor sich gehenden chemischen Prozesse, so wie durch das Leben der Thiere und der Pflanzen die Bestandtheile der Atmosphäre beständig geändert werden, mithin immer neue Ausgleichungen nöthig sind. Dazu kommen noch diejenigen Erscheinungen im Luftkreise, welche durch das Licht, die Electricität und vielleicht auch durch manche, unseren physikalischen Laboratorien ganz fremde Thätigkeiten hervorgebracht werden. Diese Phänomene folgen bald ganz regelmäßig, bald ohne erkennbare Regelmäßigkeit mit verschiedenem Grade der Geschwindigkeit auf einander, und machen zusammen die Witterung, oder, wie man zu sagen pflegt, das Wetter aus. Die Erscheinungen des Luftkreises auf erkannte Naturgesetze zurückzuführen, ist der eigentliche Gegenstand der Meteorologie, die man ja nicht mit der Meteorognosie (Meteoromantie) oder der Kunst, die Witterung vorherzusagen, verwechseln darf. Von letzterer kennen wir kaum mehr als einige wenige Fragmente, die sich überdieß meistens nur auf einzelne Gegenden beziehen.

Erstes Kapitel.

Von der Atmosphäre und ihren Veränderungen überhaupt.

172. Es ist aus den Gesetzen des Gleichgewichtes der Gase (I. 204) bekannt, daß die atmosphärische Luft im Zustande der Ruhe die Erde wie eine Hohlkugel umgebe und bis zu jener Höhe reiche, wo die Schwere jedes Theilchens seiner abstoßenden Kraft das Gleichgewicht hält. Um diese Höhe berechnen zu können, müßte man die Temperatur an der Oberfläche der Erde und das Gesetz, nach welchem sie sich nach oben ändert, kennen. Leider ist man über dieses Gesetz nicht ganz im Reinen, und man hat sich bisher noch immer nicht entscheidend aussprechen können, ob in Höhenpunkten, deren Abstände vom Horizonte der Erde, Glieder einer arithmetischen Reihe bilden, die Temperaturen Glieder einer arithmetischen und einer geometrischen Progression sind,

zweifelt aber nicht daran, daß eines dieser zwei Gesetze das wahre sey. Die Wahrscheinlichkeit spricht aber für letzteres. Es mag aber was immer für ein Gesetz der Wärmeabnahme nach oben gelten, so ist doch so viel gewiß, daß die Höhe der Atmosphäre am Aequator größer als an den Polen, und überhaupt nicht ganz beständig sey, sondern an jeder Stelle innerhalb gewisser Grenzen schwankt.

Schmidt hat die Höhe der Atmosphäre für beide Annahmen und für die Voraussetzung berechnet, daß die Temperatur für eine Erhebung von 121.1 Toisen um 1° R. abnimmt. Er findet nach der ersten Annahme für die Aequatorialgegend, wo bei einem mittleren Barometerstande von 337.3 P. L der mittlere Thermometerstand + 22° 4 R. ist, die Höhe der Atmosphäre = 27631 Toisen = 7.22 geogr. Meilen; hingegen für die Stelle der Erde, wo bei einem gleichen mittleren Barometerstande die Temperatur = 0° ist, 25128 T. = 6.6 geogr. M. Für die zweite Annahme findet er die Höhe der Atmosphäre am Aequator = 104975 T. = 27.5 geogr. M., und an der Stelle, wo die mittlere Temperatur = 0° R. ist, 103518 T. = 27.1 geogr. M. (Gilb. Ann. 62. 309. Zeitsch. 8. 420.)

173. Den bekannten Gesetzen des Gleichgewichtes gemäß sollte die Atmosphäre von oben nach unten an Dichte und Expansivkraft zunehmen, und daher an der Erdoberfläche die größte Dichte besitzen. Allein dieses Gesetz beruht auf der Annahme eines allenthalben gleichen Wärmegrades, und muß daher in der Wirklichkeit, wo beinahe jede Luftschichte eine andere Temperatur hat, große Ausnahmen erleiden. Insbesondere ist klar, daß die Dichte der Luft wegen des nach oben abnehmenden Druckes abnehmen, wegen der nach oben abnehmenden Temperatur aber wachsen soll. In der Regel ist zwar die erstere Wirkung die überwiegende, und daher die Luft oben dünner als unten; es gibt aber doch Fälle, wo das Gegentheil einige Zeit hindurch Statt findet, aber durch das Herabsinken der oberen schwereren Schichten in die unteren Regionen bald aufgehoben werden muß. Daß der Luftdruck bei gleicher Entfernung vom Centrum der Erde nicht derselbe sey, wie es die Gesetze des Gleichgewichtes verlangen, ist schon früher gesagt worden. Sehr wichtige Erscheinungen bringt das in der Luft befindliche Wasser hervor, indem es das auffallende Licht mannigfaltig modificirt und auch auf die Erwärmung und Erkaltung der Erde einen großen Einfluß ausübt, ja sogar zur Entwicklung der Luftelectricität beiträgt, durch welche die imposantesten Erscheinungen hervorgebracht werden. Alle diese Veränderungen der Luft bestimmen das **Klima**, d. h. den Zustand der Wärme, der Feuchtigkeit und der Luft, und deren Bewegung an einem Orte.

Zweites Kapitel.

Veränderungen der Bestandtheile der Atmosphäre.

174. Die Hauptbestandtheile der Atmosphäre sind bekanntlich Sauerstoffgas, Stickgas, Kohlensäuregas und Was-

serdünste; es kommen aber überdieß örtlich noch manche andere Stoffe, wie z. B. nach Witting (Kast. Arch. 5. 189) freie Salzsäure, salzsaurer Kalk, Kohlenwasserstoff, organische Substanzen, nach Boussingault Kohlenwasserstoff darin vor; bei Gewittern hat man auch Salpetersäure in der Luft gefunden. Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Stoffe nur als Gemengtheile neben einander existiren, ohne mit einander chemisch verbunden zu seyn; denn ein mechanisches Gemenge dieser Stoffe nach dem in der Atmosphäre vorhandenen Verhältnisse zeigt genau dieselben Eigenschaften, welche man in der atm. Luft bemerkt, z. B. dasselbe specifische Gewicht, dasselbe Lichtbrechungsvermögen, und ihre gleichförmige Mengung ist ganz den Gesetzen des Gleichgewichtes der Gase gemäß (I. 209). Hingegen bemerkt man an der atm. Luft keine jener Eigenschaften, welche die chemischen Verbindungen von Stickstoff mit Sauerstoff charakterisiren, ja das Verhältniß dieser zwei Stoffe in der Atmosphäre widerspricht den stöchiometrischen Gesetzen geradezu. Eine natürliche Folge dieser Behauptung ist, daß jeder der Hauptbestandtheile der Atmosphäre gleichsam eine für sich bestehende, in den Zwischenräumen der übrigen Bestandtheile befindliche Atmosphäre um die Erde bildet, und daß der gesammte Luftdruck aus der Summe des Druckes der Sauerstoff-, Stickstoff-, Kohlensäure- und Wasseratmosphäre bestehe. Die Dichte jeder dieser Atmosphären nimmt nach oben nach dem Mariotte'schen Gesetze ab.

175. Die Bestandtheile der Atmosphäre sind beständigen Veränderungen unterworfen. Durch Verbrennen, Fäulniß, Gährung und durch das Athmen der Thiere wird beständig Sauerstoffgas verzehrt, durch das Leben der Pflanzen, durch Gährung und Verbrennen fortwährend Kohlensäuregas entwickelt; das Wasser verdünstet fast ununterbrochen. Diese Veränderungen gehen allerdings nur in den unteren Schichten der Atmosphäre vor, aber weil deren Bestandtheile nur mit einander gemengt, nicht chemisch an einander gebunden sind, so existiren sie unabhängig von einander, jeder Bestandtheil steht nur mit sich selbst im Gleichgewichte, und der örtliche Abgang oder Ueberschuß eines Theiles wird durch Zu- oder Abfluß aus der Umgebung ausgeglichen. Daher muß jede Veränderung in den untersten Schichten auch auf die oberen wirken, und demnach ein beständiges Bestreben herrschen, allenthalben eine gleichförmige Mengung der Bestandtheile der Atmosphäre zu erzeugen. Deßungeachtet kann einer oder der andere dieser Bestandtheile an einem Orte ein relatives Uebergewicht bekommen, weil der Abfluß, welcher zur Herstellung des Gleichgewichtes nothwendig ist, durch mechanische Hindernisse, wie z. B. durch entgegengesetzte Luftströme, durch andere Gase, durch verminderte Communication verzögert wird. Daher kommt es, daß das Kohlensäuregas und die Wasserdünste in den unteren Regionen in verhältnißmäßig größerer Menge vorhanden sind, als in den oberen, und daß in Kellern, Brunnen, verschlossenen Gängen 2c. die Luft nicht selten entweder wegen zu geringem Sauerstoffgehalte unathembar oder durch schädliche

Gase, wie z. B. durch Kohlenwasserstoff-, Schwefelwasserstoff-, Kohlensäuregas vergiftet ist.

Hieraus wird ersichtlich, daß man nur mit Vorsicht Orte betreten darf, wo der Luftwechsel erschwert ist, und man einen Abgang an Sauerstoffgas oder die Gegenwart schädlicher Gase zu befürchten Grund hat. Ein Licht an einer Stange vor sich herzutragen, und sich durch das Erlöschen desselben an die Rückkehr mahnen zu lassen, sichert nicht immer gegen Unglück; denn lichtverlöschend und unathembar sind zwei sehr verschiedene, nicht immer gleichzeitig vorhandene Eigenschaften. Es gibt Luftarten, in denen die Lichter vorzüglich brennen und doch Menschen ersticken, und andere, in denen kein Geleuchte brennt, aber Menschen leben können; glücklicher Weise kommen aber die ersteren seltener vor, als die letzteren. Atmosphärische Luft kann $\frac{1}{20}$ Kohlensäuregas dem Volum nach enthalten, ohne schädlich zu werden; $\frac{1}{250}$stel Volum Schwefelwasserstoffgas der atm. Luft beigemengt, tödtet nach Dupuytren schon in einer Minute ein Pferd; $\frac{1}{832}$stel einen Hund von mittlerer Größe; $\frac{1}{1500}$stel einen Vogel auf der Stelle. Thenard empfiehlt darum auch dieses Gas zum Vertilgen schädlicher Thiere (*Ann. de Chim.* 49. 457. Ueber die unterirdischen Gasarten etc. von A. v. Humboldt. Braunschweig 1799.)

176. Unter den Hauptbestandtheilen der atm. Luft sind die Wasserdünste und das Kohlensäuregas allein bald in größerer, bald in geringerer Menge vorhanden, während Sauerstoffgas und Stickgas stets in demselben Verhältnisse vorkommen; doch darf man dabei nicht vergessen, daß die Mittel, welche uns zur Prüfung des Wasser- und Kohlensäuregehaltes der Luft zu Gebote stehen, weit empfindlicher sind, als jene, mittelst welcher wir die atm. Luft auf Sauerstoff prüfen. Der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre ist in trockenen Tagen größer als nach einem Regen, weil das Regenwasser einen Theil dieses Gases aufnimmt; bei anhaltender Sommerhitze und bei anhaltendem Froste (der größeren Trockenheit wegen) größer, als in mäßig warmen und feuchten Tagen, über Wasser kleiner als über dem festen Lande, in Städten größer als auf dem Lande, auf Bergen größer als in Ebenen, und bei windigem Wetter größer als bei Windstille. Es scheint ein periodisches Wachsen und Abnehmen des Kohlensäuregehaltes der Luft Statt zu finden, und zwar fand Saussure, daß zu Genf und in der Umgebung in der Mitte des Tages das Minimum, gegen Ende der Nacht das Maximum der Kohlensäure vorhanden sey, daß dieselbe in den letzten Stunden der Nacht am schnellsten wachse, in den ersten des Tages am schnellsten abnehme. Auf Bergen ändert sich der Kohlensäuregehalt durch den Einfluß der Nacht gar nicht, in Städten wächst er des Nachts minder als auf dem Lande. (Saussure in Gilb. Ann. 54. 217; Zeitsch. 5. 356; 8. 351.) Wie veränderlich der Wassergehalt der Luft sey, ist ohnehin bekannt.

Nach Th von Saussure beträgt der Kohlensäuregehalt der atm. Luft im Mittel 0.0415 pCt. dem Volum nach; Watson fand ihn im Freien = 0.045 und in der unreinen Atmosphäre von Bolton 0.05300. Nach Boussingault enthält die Atmosphäre von Lyon davon 0.00046. Nach Dalton sollen die in der Luft befindlichen Dünste bald einer

Quecksilbersäule von 0.1 Z., bald einer Säule von 0.6 Z. das Gleichgewicht halten, und daher auf Rechnung der Dünste $\frac{1}{280}$ bis $\frac{1}{50}$, also im Mittel der 100ste Theil des ganzen Druckes der Atmosphäre kommen. Demnach betragen die in der Luft enthaltenen Gase und Wasserdünste

	dem Volum nach	dem Gewichte nach	Druck in Zollen beiläufig
Sauerstoffgas . .	0.2100 . . .	0.2308 . . .	6.668
Stickgas	0.7796 . . .	0.7624 . . .	22.031
Kohlensäuregas . .	0.0004 . . .	0.0006 . . .	0.017
Wasserdünste . .	0.0100 . . .	0.0062 . . .	0.179
	1.0000	1.0000	28.895

Es ist klar, daß dieses **Verhältniß** nicht in allen Höhen herrschen kann, indem jede der vier Atmosphären für sich nach oben an Dichte abnimmt. In einer Höhe von 10.000 F. entspricht der Sauerstoffatm. nur mehr ein Druck von 4.48 Z., der Stickstoffatm. ein Druck von 14.81 Z., der Kohlensäureatm. ein Druck von 0.011 Z. und der Wasseratm. ein Druck von 0.012 Z.

Drittes Kapitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erde.

177. Der Wärmezustand der Erde und ihrer Atmosphäre hat auf das Gedeihen der Gewächse und auf das Leben der Thiere, ja selbst auf das Befinden des Menschen einen so großen Einfluß, daß es wohl der Mühe werth ist, die Vertheilung der Wärme und die jedem Erdstriche zu jeder Zeit eigene Temperatur, so weit es der Zustand unserer Kenntnisse gestattet, aus den bekannten Naturgesetzen zu erklären, um so mehr, als durch den Wärmezustand das Klima eines Landes vorzüglich charakterisirt wird. Bekanntlich unterliegen sowohl die Temperatur der Erdoberfläche, als auch jene der ihr nahen Luftschichten bedeutenden Veränderungen, und diese bieten zwei Perioden dar, eine **tägliche** und eine **jährliche**, die mit der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde, mithin mit dem Stande der Sonne gegen die Erde in der innigsten Verbindung stehen. Täglich nimmt die Temperatur von Sonnenaufgang bis 1 — 3 St. nach Mittag zu, und sinkt wieder von da an, bis sie ihr Minimum erreicht, wenn nicht Winde, Wolken, Wasserniederschläge 2c. diesen Gang der Wärme stören. Eben so steigt die Temperatur der einzelnen Tage im Allgemeinen von der Zeit ihres Minimums bis zu ihrer größten Höhe, und sinkt von da wieder bis zu ihrem kleinsten Werthe. Das Gesetz der Ab- und Zunahme der Temperatur, der Unterschied zwischen den beiden Wärmeextremen, sowohl täglichen als jährlichen, und der mittlere Zustand der Wärme richtet sich hauptsächlich nach der geogr. Breite, und man theilt in dieser Beziehung die ganze Erde in fünf **Zonen** oder **Erdgürtel**, nämlich in eine **heiße Zone**, zwischen den beiden Wendekreisen, in zwei **gemäßigte**, zwischen jedem Wendekreise und dem Polarkreise derselben Erdhälfte, und in zwei **kalte**, von jedem Polarkreise bis zum entsprechenden Pole.

178. In der heißen Zone zerfällt das Jahr in zwei Jahreszeiten, nämlich in die trockene, heiße Jahreszeit, und in die Regenzeit. Wenn die Mittagssonne dem Zenith nahe rückt und mit ihrem glühenden Strahle die Pflanzenwelt zu vertilgen droht, überzieht sich der Himmel mit trübem Gewölke, es beginnt der tropische Regen, der mit Ausnahme einiger Tage und Stunden mehrere Monate anhält. Diese Erscheinung fällt zu beiden Seiten des Aequators in entgegengesetzte Zeiten des Jahres. Sie fängt an der Nordseite des Aequators desto früher an, je geringer die Breite des Ortes ist, und rückt daher von Süden nach Norden fort; auch dauert sie desto länger, je früher sie vor dem höchsten Sonnenstande eintrat.

Die Regenzeit beginnt an der Küste von Guinea im April oder Mai, tiefer im Lande im Mai oder Juni, und endlich im Flußgebiete des Gambia und Senegal im Juni oder Juli. Nach Rußegger's handschriftlichen Mittheilungen theilen sich im Inneren Afrika's die Trocken- und Regenzeit gleichmäßig in das ganze Jahr, und jede derselben umfaßt nahe 6 Monate. Die Regenzeit, südlich vom Aequator, ist eine Fortsetzung des südlichen Winters, und umfaßt die Monate October bis April; am Aequator beginnt sie mit Ende December oder Anfangs Jänner. Im Januar traf sie Rußegger schon in 10° 16′ n. Breite, mit Eintritt Februar im 11° und erst im Mai im 15° Br., und dauert daselbst bis October. Sie erstreckt sich nur bis 16° Br. Ueber diesen Breitegrad hinaus (bis zum 18°) reichen nur Regenstürme, die aber nicht mehr so regelmäßig, ja nicht einmal alljährlich eintreten. Ueber den 18° Breitegrad hinaus hören die periodischen Regen ganz auf, und es sind Regen überhaupt in den Wüsten von Nubien und Oberägypten nur als Seltenheit zu betrachten, und diese fallen in die Periode unseres Winters.

179. Die Länder der gemäßigten Zonen haben vier Jahreszeiten, die bekanntlich durch die Namen Frühling, Sommer, Herbst und Winter bezeichnet werden. In diesen Gegenden steigt im Sommer die Wärme nicht selten so hoch als im heißen Erdgürtel, aber dafür sinkt sie im Winter tief unter die geringste Temperatur der heißen Zone. Der Unterschied zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur wächst in der Regel mit der Breite eines Ortes. Länder, welche der heißen Zone nahe liegen, kennen keinen rauhen Winter, der die Fluren tödtet, sondern nur Tage, wie wir sie im Frühlinge oder Herbste erleben, das Entblättern und Belauben der Bäume trennt nur eine sehr kurze Frist. So z. B. dauert in Aegypten der heiße Sommer vom April bis November, dann löset ihn eine wahre Frühlingszeit ab. Nicht minder mild ist der Winter in Sicilien, Malta, im südlichen Spanien, auf den canarischen Inseln, in Südcarolina, Georgien und Louisiana, am Rio della Plata, auf den Südseeinseln u. s. f. Je weiter man sich von der Grenze der heißen Zone in die gemäßigte hinein entfernt, desto gleichmäßiger theilen sich die vier Jahreszeiten in das ganze Jahr, bis bei weiterer Annäherung an die Grenze des kalten Erdgürtels der Winter die Oberhand gewinnt und einen Theil des Frühlings und Herbstes verschlingt. Es erreicht zwar der Sommer wegen der langen Dauer der Tage eine außerordentliche Hitze,

so daß Pflanzen vom Keimen bis zur Reife nur etwa 6 Wochen brauchen, die bei uns kaum in drei Monaten eben so weit gebracht werden können; dafür ist diese Zeit nur kurz und der schnell einbrechende Winter so heftig, daß die meisten Flüssigkeiten gefrieren, der Athem zu Reif erstarrt, alle Vegetation erstirbt, und nur wenige Thiere, so wie der überall ausdauernde Mensch, Thätigkeit und Leben beurkunden.

180. In der **kalten Zone** zerfällt das ganze Jahr in einen flüchtigen Sommer und in einen langen Winter. Die an der Grenze des gemäßigten Erdgürtels befindlichen Länder nehmen zwar noch etwas an den günstigeren Verhältnissen des letzteren Theil, aber weiter davon kann die Sonne selbst bei der langen Dauer der Tage wegen ihrer geringen Höhe, wegen der häufigen Nebel und der Dicke und Dichte der Luftschichten, welche die schief einfallenden Lichtstrahlen durchwandern müssen, bevor sie den Boden treffen, keine namhafte Erwärmung mehr hervorrufen, um so mehr, als die meiste Wärme zum Schmelzen des Eises verwendet wird. Ueber 70° nördl. Br. hinaus steigt das Thermometer selbst im Sommer selten über den Eispunkt und über 79—80° nördl. Br. schmilzt der Schnee gar nicht mehr weg.

181. Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Verschiedenheiten in der verschiedenen Einwirkung des Sonnenlichtes ihren Grund haben. Die Oberfläche der Erde wird durch die Sonnenstrahlen unmittelbar erwärmt, indem sie dieselben absorbirt, und diese Erwärmung muß natürlich bei gleichen Umständen desto größer ausfallen, je länger die Einwirkung der Sonne anhält, je dichter und je weniger schief ihre Strahlen auffallen. Der Luft wird aber diese Wärme auf verschiedene Arten mitgetheilt. Erstens verschluckt sie einen, wenn auch nur geringen Theil der einfallenden Sonnenstrahlen, und erwärmt sich dadurch; zweitens strahlt die erwärmte Erde ihre Wärme gegen die Luft aus, und theilt ihr dadurch eine höhere Temperatur mit; endlich drittens erhalten die der Erde zunächst liegenden Luftschichten auch von der Erde unmittelbar Wärme. Alle diese Umstände machen, daß, wenn die Erwärmung der Erde durch die Sonne nicht gar zu rasch und zu heftig vor sich geht, die Temperatur der Erde jener der nächsten Luftschichten mehr gleich ist. Hieraus ersieht man zugleich, daß die Größe und der Gang der Erwärmung nicht allein von der Kraft der Sonnenstrahlen, sondern auch von der Beschaffenheit der Körper abhänge, welche von denselben getroffen werden. Da überdieß die Wärme ihrer Natur nach von dem wärmeren Körper übergeht, und selbst Luftströme die Temperatur eines Ortes in einen anderen übertragen; so ist ersichtlich, daß die Wärmeverhältnisse außer der geogr. Breite auch noch davon abhängen müssen, ob ein Erdstrich festes Land oder mit Wasser bedeckt ist, von welcher Beschaffenheit der Boden, und nach welcher Richtung er vorzugsweise ausgedehnt, ob seine Atmosphäre ruhig oder von Winden oft heimgesucht ist, endlich in welcher Höhe über der Meeresfläche er sich befindet.

182. Das **Wasser** entwickelt aus den auffallenden Sonnenstrahlen weniger Wärme als der Boden des festen Landes, und er-

wärmt sich darum auch langsamer als der Continent. Dafür erkaltet es auch wieder langsamer, weil es wenig Wärme ausstrahlt, und weil die oberen erkalteten Schichten zu Boden sinken und durch tiefer liegende, wärmere ersetzt werden. Beim Ocean kommt noch dazu, daß so große Wassermassen von ungleicher Temperatur stets mit einander communiciren und sich beständig auszugleichen suchen. Demnach wird das Seeklima, womit auch jenes der Inseln und der Küstenländer dem Wesen nach übereinstimmt, minder warme Sommer und gemäßigtere Winter haben, als das Continentalklima, dessen Extreme viel weiter von einander abstehen, und das mit Recht excessives Klima genannt werden kann. Wegen der großen Gleichförmigkeit der Wasseroberfläche und dem Mangel an Erhöhungen folgen die Wärmeverhältnisse zur See überhaupt mehr der geogr. Breite, als am festen Lande.

183. Das feste Land erwärmt sich wegen seiner Athermansie, Dichte und dem Mangel an Verschiebbarkeit seiner Theile in der Regel stärker und ungleichförmiger, erkaltet aber auch schneller und mehr als Wasser. Aus diesem Grunde haben große Continente einen größeren Wechsel der Wärme, als kleinere Inseln und Küstenländer, wie sich dieses besonders in dem größten der Festlande, Asien, deutlich zeigt, dessen Inneres bei gleicher Breite eine größere Sommerhitze, aber auch eine größere Winterkälte hat, als Europa. Daß Länder, welche von Meerbusen und Binnenmeeren vielfach zerschnitten sind, wie z. B. Italien, Griechenland, Indien ꝛc., mehr den Charakter eines See- als den eines Continentalklima's haben; jene hingegen, welche vom Meere fast geradlinig begrenzt werden, wie z. B. Afrika, Nordasien, Neuholland, vorzugsweise dem Continentalklima anheimfallen müssen, ist für sich klar.

Aus dem Vorhergehenden begreift man leicht, warum das von so vielen Meerbusen durchschnittene, von zwei Binnenmeeren eingefaßte, westliche Europa ein milderes Klima hat, als Asien. So liegen z. B. Amsterdam und Warschau, ferner Koppenhagen und Kasan nahe in demselben Polarkreise, und haben doch so verschiedene mittlere Wärmegrade; noch auffallender ist die Differenz zwischen der größten Sommerhitze und Winterkälte. So hat Pecking einen Sommer wie Neapel und einen Winter wie Kopenhagen; Kasan hat während eines Theiles des Frühlings und Sommers dieselbe Temperatur wie Paris, wiewohl es um 7° nördlicher liegt, und dessen mittlere Temperatur um 9° tiefer ist, als jene von Paris. Von Orleans und Paris bis London, Dublin, Edinburg und Franecker nimmt die mittlere Jahrestemperatur nur sehr wenig ab, ungeachtet Breitendifferenzen von 4—6° Statt finden; aber im östlichen Europa sinkt die mittlere Temperatur zwischen 45—55° Br. schon bei einer Breitendifferenz von 1° um 0°.62 C. Während die mittlere Wärme des Festlandes in der Aequatorialzone 27°.7 beträgt, ist jene des Meeres ebendaselbst 25°.5. Das Meer erreicht dort selten 28°, und nie sah man die Meerestemperatur über 30°6, die Luft über dem Meere hat nur selten 29° und vielleicht nie 32°. Der Boden der heißen Zone nimmt während des Tages sogar 52°.5 an, und den weißen Granitsand an den Wasserfällen des Orinoco fand Humboldt 60°.3 heiß, während die Luft 29°.6 hatte. Monate lang ist die mittlere Lufttemperatur in den Tropenländern 26°.5—35°, über dem tropischen

Meere 23—27°; in Madras, Pondicheri, Oberägypten steigt die Wärme der Luft auf 40—46°.8 C.

184. Von großem Einflusse auf den Wärmezustand eines Landes ist auch die Richtung der größeren Ausdehnung desselben. Länder der gemäßigten Zone erlangen sehr günstige Wärmeverhältnisse, wenn sie sich bis in den heißen Erdgürtel hinein erstrecken, erleiden aber eine bedeutende Wärmeverminderung, wenn sie bis zu den Polargegenden hinaufreichen. In jenem Falle wirken nämlich die in dem heißen Klima aufsteigenden, gegen die gemäßigte Zone hinströmenden Luftmassen erwärmend auf die letztere ein, in diesem setzen kalte Luftströme die Temperatur der gemäßigten Zone mächtig herab. Hierin liegt ein Hauptgrund der besonders günstigen Wärmeverhältnisse Europa's, der viel geringeren Temperatur Nordasiens und Nordamerika's, und der größeren Kälte in der südlichen Halbkugel.

Nur $^1/_6$ des ganzen Umfanges des Erdäquators fällt auf festes Land, und von diesem kommen auf Afrika 0.461, auf Amerika 0.301, auf Asien 0.114 und auf Australien 0.124; es fällt daher der größere Theil des tropischen Continents in die Länder der alten Welt, und gerade Europa befindet sich in jenem Theile desselben, der sich in der heißen Zone am meisten ausbreitet. Asien und Amerika erstrecken sich weiter ins Eismeer hinein als Europa, und innerhalb der Meridiane, die sie begrenzen, nimmt die See den größten Theil der heißen Zone ein. Die Länder der südlichen Halbkugel laufen gegen Süd, fast ohne Ausnahme, in Spitzen aus, und haben darum ein Klima von der Natur des See-Klima's mit einem keineswegs heißen Sommer und einem mäßigen Winter.

185. Der Zustand des Bodens hat auf das Klima keinen geringeren Einfluß als die Gestalt und Ausdehnung des Landes. Trockener, nackter, besonders sandiger Boden erhitzt sich sehr stark und verliert keine Wärme durch Verdünstung. Cultivirter, mit Pflanzen besetzter, besonders waldreicher Boden ist immer kühler als pflanzenleeres Land, weil durch den Vegetationsprozeß viele Wärme gebunden wird, die Sonnenstrahlen den Boden nicht erreichen können, und die Wärmeausstrahlung von einer größeren Fläche erfolgt. Stagnirendes Wasser, Seen, Sümpfe und Moräste, so wie große Flüsse, mäßigen durch ihr geringes Erwärmungsvermögen die Sommerhitze, und begegnen, wenn sie tief sind, auch der Winterkälte; nur in großen Breiten hemmen sie den frühzeitigen Eintritt der Frühlingswärme. Die ungeheure Sahara ist aus diesen Gründen so heiß (50°—60°) und sendet uns darum so mächtig wirkende Luftströme zu; darum ist das Klima von Ostflorida und im südlichen, waldigen Negerlande Afrika's, ungeachtet der Nähe des Aequators, so anmuthig; darum bringt die Ausrottung der Wälder in heißen Gegenden so großen Nachtheil. Amerika's Wälder haben einen großen Einfluß auf die vorzugsweise große Luftfeuchtigkeit und die gemäßigte Wärme selbst des tropischen Theiles dieses Landes.

186. Länder, welche von kalten Winden häufig heimgesucht werden, sind kühler als jene, die durch Gebirge dagegen geschützt sind.

Wo häufige Gewitter Statt finden, wird auch die Luft häufig abgekühlt und die Hitze gemildert. Europa verdankt seine klimatischen Vorzüge vor Ländern von gleicher Breite und Höhe mitunter gewiß auch den Uralgebirgen, welche die kalten Nordostwinde abhalten, und den von den heißen afrikanischen Sandwüsten herbeigeführten Luftströmen. Einen großen Einfluß auf die Temperatur eines Landes haben auch die aus fernen Gegenden dahin gelangenden Meeresströmungen. Norwegen scheint dem Golphstrome größtentheils sein gemäßigtes Klima zu verdanken.

187. Es liegt in der Natur der Lufterwärmung, daß die Temperatur der Luft nach oben abnehmen muß. Die Luft kann nämlich desto weniger Licht absorbiren und sich dadurch erwärmen, je dünner sie ist; die von der Erde ausstrahlende Wärme wird die oberen Schichten weniger treffen und von ihnen weniger aufgenommen werden, die Mittheilung von der Erde aus wirket auf die oberen Luftschichten gar nicht, und auch die von der Berührung der unteren und oberen Luftschichten unter sich herrührende Erwärmung muß immer geringer werden, je weiter aufwärts es geht; endlich fällt die reichlichste Quelle der Erwärmung, welche von den aufsteigenden warmen Luftströmen herrührt, in den oberen Regionen dürftig aus, weil sich die Luft beim Aufsteigen in denselben zu sehr ausdehnt und schon deßhalb bedeutend erkaltet. Es wäre wichtig, das Gesetz zu kennen, nach welchem die Temperatur gegen oben abnimmt, bis jetzt ist man aber noch zu keinem ganz sicheren Resultate gelangt (171). Berge wirken auch noch dadurch auf das Klima eines Landes, daß sie den Sonnenstrahlen sehr mannigfaltig geneigte Flächen darbieten, sich gegenseitig beschatten und Nachts wegen ihrer besonders großen Oberfläche viel Wärme ausstrahlen. Je höher ein Ort über der Meeresfläche liegt, desto geringer ist seine Temperatur; doch herrscht auf Gebirgsebenen ein milderes Klima als in gleicher Höhe auf isolirten Bergen. Man kann beim Besteigen eines hohen Berges mehrere Klimate über einander antreffen. Wenn man sich von Rio de Guayaquil aus gegen den Gipfel des Chimborasso erhebt, so findet man in einem engen Erdraume alle Klimate schichtenweise über einander gelagert, und sieht die Natur auf einer Tagreise sich rascher verändern, als wenn man tausend Meilen vom Aequator nordwärts reisete. A. v. Humboldt traf auf dem Rücken der Anden in einer Höhe von 5060 W. F. über der Meeresfläche das Klima von Algier, bei 8540 F. Höhe das Klima von Florenz an. Man wird offenbar überall, wo sich hinreichend hohe Berge oder Landschaften befinden, eine Höhe erreichen, in welcher der Schnee nicht mehr wegschmilzt. Man nennt sie die mittlere Schneegrenze. Diese Höhe ist desto bedeutender, je geringer die Breite eines Ortes ist, in der Nähe der Pole ist sie = 0, so, daß dort schon an der Meeresfläche alles von ewigem Eise starrt, übrigens aber sehr von Localitäten abhängig. Die Linie, welche die mittleren Schneegrenzen verbindet, ist nicht etwa diejenige, wo die Temperatur im Durchschnitte = 0° C. ist. Am Chimborasso ist die jährliche Durchschnitts-Luft-

wärme an der Schneegrenze — 1°.5, am St. Gotthard — 3°.7, in den Alpen — 4°.5, in der kalten Zone — 6°. Die Schneegrenze folgt überhaupt mehr der Linie einer gleichen Sommerhitze, und hängt nicht so sehr von der mittleren jährlichen Temperatur, sondern von jener des Sommers ab, und wird häufig durch Localumstände, wie z. B. durch die Ausdehnung der betreffenden Höhe, durch die Temperatur der Umgebung, den Feuchtigkeitsgrad der Luft während des Winters, durch die bei eintretendem Sommer vorhandene Schneemenge und durch die Zahl der heiteren und trüben Tage der wärmeren Jahreszeit bestimmt.

Folgendes sind die Höhen in P. F.. um die man, nach Beobachtungen an den beigesetzten Orten steigen muß, damit die Temperatur um 1°C. sinke. H bedeutet Humboldt, GL Gay-Lussac, R Ramond, D Dalton, S Saussure.

Coffre de Perotte H . .	569.6	Quito H	750
Silla de Carracas H . .	591.2	Mexico H	774
Fuerta de la Cuchilla H .	569.6	Popayan H	780
Guadaloupe H	598.7	Bogota H	786
Pic v. Teneriffa H . . .	571.7	Paris GL	533.5
Nevado de Toluca H . .	613.4	Aetna S.	547
Pichincha H	622.3	Alpen R.	538
Chimborasso H	629.0	England D.	408

Hieraus sieht man, daß die Wärme auf Plateau's langsamer abnimmt, als in tieferen Gegenden. Nach d'Aubuisson ist die Erhöhung für eine Wärmeabnahme von 1°, zu Genf und auf dem Bernhardsberge, für die einzelnen Monate in Metern, wie folgt: Jänner 221, Febr. 214, März 219, April 211, Mai 222, Juni 210, Juli 142, August 149, Sept. 164, Oct. 241, Nov. 201, Dec. 246; im Mittel 203 M. = 624 P. F. Saussure fand auf dem Col de Géant folgende Werthe in Metern zu verschiedenen Stunden: Mittags 148, 2 Uhr 140, 4 U. 142, 6 U. 141, 8 U. 143, 10 U. 157, 12 U. 171, 14 U. 189, 16 U. 210, 18 U. 195, 20 U. 180, 22 U. 160, im Mittel 161.3 M. = 496 P. F. Bei Gay-Lussac's berühmter Luftfahrt stand das Thermometer an der Erdoberfläche auf 30°.75 in 5002 M. Höhe auf 5°.25, in 5675 M. Höhe auf 0°.5, in 5632 M. Höhe auf 0° und in der größten Höhe, die erreicht wurde, nämlich in 6977 M. auf — 9°.5 Es scheint demnach die Wärme näher an der Erdoberfläche langsamer abzunehmen, als in größeren Höhen, in großen Höhen hingegen sich in arithmetischer Progression zu vermindern.

Folgende Tafel gibt die Grenzen des ewigen Schnees nach den neuesten und besten Bestimmungen an:

Name.	Breite des Ortes.	Untere Schneegrenze in Toisen.	Wärme des ganzen Jahres.	Wärme des Sommers.
Cordilleras v. Quito .	1° bis 1½° S	2460	27°.7	28°.7
» » Bolivia	16 » 17¾ S	2670		
» » Mexico	19 » 19¼ N	2350	25.4	27.5
Himalaya nördl. Abhang	30¾ » 31 N	2600	22	28
» südl. »		1950		
Kaukasus	42½ » 43 N	1700		
Pyrenäen	42½ » 43 N	1400	15.2	23 8
Alpen	45¾ » 46 N	1370	13.2	22.6
Karpathen	49 » 49¼ N	1330	9.2	20
Altai	49 » 51 N	1000		
Norwegen, inneres .	61 » 62 N	850	4.2	16.3
» » .	67 » 67¼ N	600		
» » .	70 » 70¼ N	550	—3.0	11.2
» Küsten .	71¼ » 71½ N	366	0.2	6.3

188. Das wichtigste der thermischen Verhältnisse wird durch die mittlere Temperatur und durch die täglichen und jährlichen Wärmeextreme bestimmt. Die **mittlere Temperatur** eines Tages ist eigentlich das arithmetische Mittel der Temperaturen aller Zeitabschnitte, aus denen ein Tag besteht. Weil sich aber die Wärme während einer Stunde nicht gar schnell ändert, so ist es hinreichend, wenn man zur Bestimmung der mittleren Tageswärme die Temperatur der Luft an einem Thermometer, das gegen die Sonnenstrahlen, gegen Wind und Regen und gegen die strahlende Wärme wohl geschützt ist, von Stunde zu Stunde beobachtet. Beobachtungen dieser Art, lange genug fortgesetzt, führen zur Kenntniß bestimmter Regeln, nach denen man aus einer sehr geringen Anzahl zu bestimmten Stunden angestellter Beobachtungen die mittlere Tageswärme erhält. **Humboldt** hat aus mehreren in den Tropenländern und zu Paris angestellten Beobachtungen abgenommen, daß die Temperatur bei Sonnenuntergang der mittleren Tageswärme nahe gleich komme; allein **Kämtz** findet aus den zu Padua und zu Leith angestellten Beobachtungen, daß die so gefundene Temperatur von dem wahren Mittel zu stark abweiche, als daß man sie in allen Fällen als brauchbar ansehen könnte. Näher stimmt ein anderes von **Humboldt** empfohlenes Verfahren mit der Wahrheit überein, nach welchem durch das arithmetische Mittel aus der höchsten und niedrigsten Temperatur die beabsichtigte Temperatur erhalten wird, und wenn auch nach **Kämtz** und **Carlini** selbst diese Regel nur ein beiläufig richtiges Resultat gibt, so kann sie doch durch eine Correction zum wahren Mittel der täglichen Temperatur führen.

Fände die mittlere Temperatur selbst täglich zu derselben Stunde Statt, so wäre es wohl am zweckmäßigsten, gerade zu dieser Stunde zu beobachten und man erhielte auf einmal das erwünschte Resultat, und dürfte auch die Stunde nicht mit aller Strenge einhalten, weil sich zu dieser Zeit die Wärme nur langsam ändert; allein das tägliche Mittel

tritt nicht immer und allerwärts zu derselben Zeit ein. Nach den zu Leith, Apenrade und Padua angestellten, stündlichen Beobachtungen erhält man die mittlere Tagestemperatur aus zwei Beobachtungen, einer vor- und einer nachmittägigen, die um $11^1/_4$ Stunden von einander abstehen. Nach Brewster gibt die halbe Summe zweier in gleichnamigen Stunden (z. B. 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends) erhaltenen Resultate die mittlere Tagestemperatur. Beobachtet man täglich um 7 Uhr früh und um 2 und 9 Uhr Abends, wie dieses nach den Bestimmungen der Mannheimer meteorologischen Societät zu geschehen hatte, so erhält man nach Kämtz das tägliche Mittel t durch die Formel

$$t = \frac{VII + II + 2\,IX}{4},$$

wo VII, II, IX die um 7, 2, 9 Uhr beobachteten Temperaturen bezeichnen. Nach Humboldt gelangt man auch zum Zwecke, wenn man zu beliebigen Stunden beobachtet, die gefundene Temperatur mit der Zeit multiplicirt, welche zwischen ihr und der folgenden liegt, und die Summe der Producte durch 24 theilt. Am Wiener Observatorium wird um 8 Uhr Morgens, um 3 und 10 Uhr Abends beobachtet. Sind VIII, III, X die beobachteten Temperaturen, so ist die mittlere Wärme t durch folgende Gleichung gegeben:

$$t = \frac{7\,VIII + 7\,III + 10\,X}{24}.$$

Jener Regel gemäß sollte auch das Mittel aus 2 um 12 Stunden von einander entfernten Beobachtungen die mittlere Tageswärme geben. Nach Kämtz eignen sich dazu besonders gut 4 Uhr Morgens und Abends, und 10 Uhr Morgens und Abends. Bei mehreren mit dieser Regel vorgenommenen Proben zeigte sie sich fast immer bis auf 0°.1 C. genau. (Kämtz in Schweigg. J. 48. 1. *Humboldt sur les lign. isoth. p.* 491 u. f.)

189. Das arithmetische Mittel aus allen mittleren Tagestemperaturen eines Jahres gibt die mittlere Jahrestemperatur. Diese fällt nach Humboldt nahe mit der mittleren Temperatur des Monats April und October, oder nach Kämtz noch näher mit dem Mittel aus den Temperaturen dieser zwei Monate zusammen, und ist sehr nahe eine beständige Größe.

Kämtz (Schweigg. J. 55 375) hat für mehrere Orte aus einer großen Anzahl daselbst angestellter Temperaturbeobachtungen die Tage ausgemittelt, deren mittlere Temperatur zugleich die mittlere Jahrestemperatur ausdrückt und folgende Resultate gefunden:

Ort	April	Oct.	Ort	April	Oct.
Enontekis:	28. April,	22. Oct.	Padua:	20. April,	15. Oct.
Christiania:	3. Mai,	14. »	Rom:	1. Mai,	24. »
Upsala:	22. April,	18. »	Capstadt:	19. April,	21. »
Fort Sullivan:	26. »	26. »	Fort Johnston:	21. »	18. »
Manchester:	27. »	23. »	Abusheher:	23. »	22. »
Turin:	18. »	26. »			

Man kann den 24. April und 21. October als jene Tage ansehen, deren Temperatur der mittleren Jahreswärme gleich kommt.

190. Die tägliche Zunahme der Wärme erfolgt nahe nach demselben Gesetze, wie die Abnahme derselben, und es findet demnach in gleichen Abständen von dem Zeitpunkte der größten und kleinsten Wärme

derselbe Wärmegrad Statt; doch fällt die größte tägliche Wärme in verschiedenen Orten auf verschiedene Stunden des Tages, und selbst in demselben Orte trifft sie nicht zu jeder Jahreszeit zu derselben Stunde ein. In der Regel herrscht die kleinste Tageswärme kurz (etwa 20 M.) vor Sonnenaufgang, und wächst von da bis zwischen 1—3 Uhr Nachmittags, wo die höchste Tagestemperatur eintritt. Der Unterschied zwischen der höchsten und niedrigsten Tagestemperatur wächst in der nördlichen Halbkugel vom Winter zum Sommer, ist aber selbst in derselben Jahreszeit an verschiedenen Orten sehr verschieden, und zwar desto größer, je trockener die Luft ist. Die Ursache der Ungleichheit dieser Wärmeextreme in verschiedenen Jahreszeiten liegt in der verschiedenen Dauer des Tages gegen die Nacht und in der größeren oder kleineren Sonnenhöhe; der Grund, warum diese Extreme in feuchten Orten einander näher sind, als in trockenen, ist darin zu suchen, daß in ersteren die durch Erkaltung zersetzten Dünste die Luft undurchsichtig machen, und die fernere Wärmeausstrahlung verhindern.

Aus den zu Leith in Schottland durch zwei volle Jahre stündlich angestellten Thermometerbeobachtungen ergibt sich, daß daselbst die Zeit der geringsten Temperatur im Mittel auf 6^h früh, die der höchsten hingegen auf 2^h 40′ Nachmittags fällt, daß die Wärme schneller zu-, als abnimmt, daß sie sich im Sommer regelmäßiger ändert als in den anderen Jahreszeiten. Nach Carlini tritt zu Mailand das Maximum der täglichen Wärme im Sommer um 3^h 28′, im Winter um 1^h 21′ N. M., das Minimum hingegen im Sommer um 4^h 4′, im Winter um 5^h 58′ früh ein. In Rio Janeiro ist die Temperatur Vormittags zwischen 7—10^h am höchsten, später führt der täglich eintretende Seewind eine erwünschte Abkühlung herbei, und stört demnach das allgemeine Gesetz. Die Curve, welche man erhält, wenn man die Stunden des Tages als Abscissen, die in denselben Statt findenden Temperaturen als Ordinaten betrachtet, besteht aus parabolisch gekrümmten Stücken. (Kämtz in Schweigg. Journ. 47. 385.)

191. Der jährliche Gang der Wärme hat mit dem täglichen viele Aehnlichkeit. Nach Kämtz nimmt die Wärme in mittleren und höheren nördlichen Breiten vom Januar bis Juli mehr oder weniger schnell zu, und sinkt vom Juli bis Januar. Hier hat also die Curve des jährlichen Ganges der Wärme ein Maximum und ein Minimum. Zwischen den Wendekreisen steigt die Temperatur in der nördlichen heißen Zone vom Januar bis April oder Mai, und sinkt von da bis zum Juni oder Juli; sie steigt aber wieder von diesem Monate bis zum September, und vermindert sich von da an wieder bis zum Januar. Die Curve der jährlichen Bewegung der Wärme hat also hier zwei Maxima und zwei Minima. Selbst in der gemäßigten Zone steigt aber die Wärme vom kältesten Tage an nicht ohne Unterbrechung bis zum wärmsten, und nimmt auch nicht ununterbrochen vom wärmsten bis zum kältesten ab, sondern der Uebergang von einem Extreme zum anderen erfolgt mit mehreren Schwankungen. Dieses hat vorzüglich Brandes schön nachgewiesen. Er hat nämlich für Orte von sehr verschiedener Breite aus vieljährigen Beobachtungen die mittlere Wärme von je fünf Tagen jedes einzelnen Jahres gesucht und daraus folgende Gesetze des Ganges

der Wärme abgeleitet: Die größte Kälte fällt fast überall in die ersten Tage des Jänners, und vermindert sich von da fortwährend ohne allgemeine Unterbrechung bis gegen Ende desselben Monats, wo eine neue Wärmeabnahme eintritt, die mit geringen Abwechslungen einen halben Monat anhält. Nach Verlauf dieser Zeit, also in der zweiten Hälfte des Februars, beginnt wieder eine mildere Witterung, wird aber durch eine neue Kälte (Nachwinter) auffallend unterbrochen, die in den östlichen und nördlichen Gegenden früher merklich wird, auch mehr erheblich ist, als in den westlichen und südlichen. Brandes zeigt, daß sie durch einen Luftstrom erzeugt werde, der aus dem asiatischen Eismeere oder dem nordöstlichen Rußland kommt, und durch die erwärmende Wirkung der zu dieser Zeit in diesen Gegenden gerade aufgehenden Sonne hervorgebracht werden soll. Nachdem diese vorüber ist, fängt die Temperatur allmälig zu steigen an, und wächst mit wenigen Unterbrechungen mit größeren oder geringeren Schritten bis zur Zeit der größten Sommerhitze. Diese tritt in den nördlichen Gegenden früher als in den südlichen ein, weil auch dort die Tage schneller wachsen als hier. Von dem Zeitpunkte der größten Wärme nimmt die Temperatur ab, und zwar in den südlichen Gegenden langsamer als in den nördlichen, erreicht aber im zweiten Drittel des Augusts wieder einen ziemlich hohen Grad. Von da beginnt nun besonders in den nördlicheren Gegenden eine schnelle Abnahme der Wärme bis zum Anfange Octobers, wo mit dem bekannten Nachsommer eine abermalige Erhöhung der Temperatur eintritt. Nach Verlauf des Nachsommers nimmt die Kälte mit wenigen Unterbrechungen bis zum größten Grade zu. (Untersuchungen über den mittleren Gang der Wärmeänderungen durchs ganze Jahr von Brandes. Leipzig 1820. S. 1—26.) Die jährlichen Wärmeextreme wachsen mit der geogr. Breite der betreffenden Orte.

Für Wien haben 60jährige Beobachtungen die mittlere Temperatur jedes der zwölf Monate eines Jahres so kennen gelehrt, wie folgt:

Jänner	— 1.°207	Juli	17.221
Februar	0.676	August	16.873
März	3.910	September	13.294
April	8.824	October	8.539
Mai	13.400	November	3.713
Juni	15.768	December	0.461

Jährlicher Durchschnitt 8°.459.

Die Temperaturen von April und October kommen dem jährlichen Mittel am nächsten. — In Cumana (10° 27′ nördl. Br.) ist die Temperatur des heißesten Monats im Durchschnitte 29.1 C., die des kältesten = 26.2, mithin die Differenz beider = 2°.9. In Deutschland hat man (am 31. Dec. 1783 und am 31. Jänner 1784) — 31°.2 C. beobachtet, und in Wien stieg (an der Sternwarte am 8. Juli 1819) das Thermometer auf 36°.9 C. Nach Giesecke (Scholz Physik. 4. Aufl. S. 542) war die niedrigste innerhalb 7 Jahren auf Grönland beobachtete Temp. — 42°.5 C., die höchste aber + 31°.25. In Petersburg hatte man (1772) eine Winterkälte von — 38°.8 C. und (1788) eine Sommerhitze von 33°.4. Selbst in Abo beobachtete Leche eine Temperatur von 34°.2. In Paris beobachtete man (6. Febr. 1665) — 21°.2 und (am 28. Juli 1793) eine

Hitze von 38°.4 C. Capitän Parry fand im Jahre 1819 in der Davisstraße und Baffinsbai im Juli die höchste Temperatur = 7°.7 C., die geringste — 3°.3, auf der Insel Melville (Breite 74¹/₄°) im August die größte Wärme 17°.2, die kleinste — 5°.5. In Spitzbergen (Breite 79°) soll in den Wintermonaten die Temperatur fast immer zwischen — 35° und — 37° C. schwanken und im Sommer nur selten über 4°.5 C. steigen. Im Winter bilden sich in diesen Gegenden die ungeheuren Eisfelder, welche die Polarmeere bedecken und oft einige hundert Meilen im Umfange haben, wohl auch die sogenannten Eisberge, die oft mit ungeheurem Getöse stückweise ins Meer stürzen, fortschwimmen, und besonders, wenn sie die Sonne brüchig gemacht hat, den Schiffen große Gefahr bringen. (Gilb. Ann. 62. 1.) Nach Bouvard tritt zu Paris die größte Sommerhitze am 15. Juli, die größte Winterkälte am 14. Jänner, mithin 6 Monate nach jener ein, beide erfolgen 25 Tage nach dem Solstitium. Die vom wärmsten Monat Juli gleich weit abstehenden Monate März und November haben auch eine gleiche Temperatur (6°.48 und 6°.78), und der 5. März hat genau dieselbe Temperatur wie der 24. November. Nach Kämtz fällt die höchste und geringste Temperatur des Jahres in nachstehenden Orten auf die ihnen beigesetzten Tage:

Enontekis:	20. Jän.,	26. Juli.	Padua:	15. Jän.,	26. Juli.
Christiania:	17. »	20. »	Rom:	17. »	1. Aug.
Upsala:	16. »	21. »	Capstadt:	2. Febr.,	6. Juli.
Fort Sullivan:	24. »	29. »	Fort Johnston:	18. Jän.,	21. »
Manchester:	12. »	27. »	Abusheher:	12. »	18. »
Turin:	3. »	27. »			

Im Mittel fällt demnach der kälteste Tag auf den 14. Jänner, der wärmste auf den 26. Juli.

192. Die Vertheilung der Wärme auf der Erde wird am besten ersichtlich, wenn man die Orte von gleicher mittlerer Temperatur durch Linien verbindet, welche man isothermische Linien nennt. Fig. 375 stellt diese Linien für die nördliche Halbkugel dar. Man entnimmt daraus folgende Gesetze: Die der höchsten Temperatur entsprechende Isotherme ist die des Aequators. Sie entspricht an den Küsten der größeren Continente 27°.74; im Inneren großer Länder ist die Wärme etwas größer, mitten im Ocean etwas kleiner. Die Isotherme von 25° verläßt die Westküste Amerika's nördlich von Acapulco, geht durch Cuba, tritt, nachdem sie etwas nach Süden hinabgestiegen ist, nördlich von den Inseln des grünen Vorgebirges in Afrika ein, hebt sich an der Westküste Afrika's nach Norden, und schneidet die asiatische Ostküste westlich von der Insel Lusson. Die Isotherme von 20° geht durch Californien, schneidet die Westküste Europa's zwischen Madeira und den canarischen Inseln, läuft zwischen Creta und der Küste Aegyptens fort, und verläßt Asien in der chinesischen Provinz Tsche-kiang. Die Isotherme von 15° geht durch Neu-Calefornien gegen die Azoren, und erreicht Europa an der Grenze von Spanien und Portugal, zieht sich dann durch den römischen Staat, geht durch das caspische Meer, senkt sich hierauf nach Süden und erreicht Asiens Ostküste in der Insel Niphon. Die Isotherme von 10° geht von der Westküste Amerika's in New-Albion nach Neu-York, hebt sich da nördlich und erreicht ihre größte Breite bei London, lauft von da bei Frankfurt und Wien

vorbei gegen Astrachan, und erreicht in der Wüste Schamo ihren südlichsten Scheitel. Die Isotherme von 5° verläßt Amerika bei Halifax, erreicht Drontheim in Norwegen, und senkt sich dann gegen Riga und Moskau, hat bei Kiachta ihren südlichsten Scheitel und tritt im südlichen Theil von Kamtschatka in den großen Ocean ein. Die Isotherme von 0° senkt sich im amerikanischen Continente stark nach Süden, steigt aber beim Austritte aus demselben nördlich von Neu-Foundland gegen Island bis zum nördlichen Theile von Norwegen, worauf sie aber schnell abwärts geht und im asiatischen Continente die Ostküste am nördlichen Theile von Kamtschatka zu erreichen scheint. Die Gestalt dieser Linien zeigt deutlich das Daseyn zweier Punkte der Erdoberfläche (Kältepole) an, wo die Temperatur im Verhältnisse zur geogr. Breite am geringsten ist. Einer derselben liegt nördlich vom amerikanischen, der andere nördlich vom asiatischen Festlande. Da die Temperatur von unten nach oben eben so abnimmt, wie vom Aequator gegen die Pole, so wird selbst am Aequator jeder Höhe eine mittlere Temperatur entsprechen müssen, wie sie in einer bestimmten Breite vorkommt. Fig. 376 zeigt die Isothermen dieser Art.

193. Von der mittleren Temperatur, besonders von jener der einzelnen Jahreszeiten, hängt insbesondere bei sonst günstiger Beschaffenheit des Bodens, der **Zustand der Vegetation** ab, so daß man häufig von diesem Zustande auf die Temperatur einen Schluß zu machen im Stande ist. Paris und London haben fast dieselbe mittlere Temperatur (Paris 10°.6, London 10°.2), und doch kommen um Paris viele Gewächse sehr gut fort, die um London nicht gedeihen. Ein Land, welches das ganze Jahr hindurch 10° C. Wärme hätte, würde nur wenige Pflanzen zur Reife bringen, während bei derselben mittleren Temperatur und einer mittleren Sommerwärme von 21°, und einer mittleren Winterkälte von —3°, wie dieses in Wien der Fall ist, eine sehr üppige Vegetation herrschen kann.

Jede Pflanze fordert zum Gedeihen und Reifen ihrer Früchte eine bestimmte Sommerwärme und mittlere Temperatur, und kommt daher nur dort fort, wo diese herrscht. So z. B. fordert die Weintraube eine mittlere Temperatur von 8°.7, die Kastanie 9°.3, die Olive 13°.1, die Pomeranze 17°, die Kaffeebohne 18°.1, der Zucker 23°.7. Auf der Reise von Rio de Guayaquil nach dem Chimborasso trifft man an der Fläche der Südsee bis zu einer Höhe von 2700 Fuß Palmen und Pisangs; Affen, Jaguare und bunte Papageien haben hier ihren Aufenthalt. Von da bis zu einer Höhe von 9000 P. Fuß gedeihen die tropischen Eichen und Chinabäume, auch baumartige Farrenkräuter. Weiter aufwärts bis 12000 F. finden in kalten beständigen Nebeln noch die Escallonien und die Zimtwintern sparsame Nahrung, aber auch diese hören auf, wenn man sich weiter aufwärts begibt, und es treten nur kräuterartige Alpenpflanzen, mit feiner Wolle dicht bewachsen, an ihre Stelle, bis endlich bei einer Höhe von 14760 F. nur gelblich leuchtendes Gras, zuletzt gar nur kryptogamische Gewächse den traurigen, halb nackten Boden bedecken, den außer wilden Lama's und dem Berglöwen wenige belebte Wesen besuchen. Ueber diese Höhe hinaus, starrt die Natur vom ewigen Eise. (*Voyage de M. Alexander de Humboldt et Aimé Bonpland. 1. part. phys. générale. Paris et Tubingen* 1807.)

Einen ähnlichen Wechsel der Vegetation bemerkte Buch (dessen Reise nach Norwegen und Schweden. Berlin 1810) in den Alpen unter einer Breite von 45°.25 — 46°.5, und in Norwegen unter einer Breite von von 70°. Er gibt folgende Grenzen an:

Für die Alpen.	In P. F. Höhe.	Für Norwegen.	In P. F. Höhe.
Weinbaugrenze	2432	Grenze der Fichten . .	730
Nußbaumgrenze . . .	3564	» » Birken . .	1483
Kirschbaumgrenze . . .	4164	» » Heidelbeeren	1980
Buchengrenze	4815	» » salix myrsinit.	2010
Alpenrose	6840	» » Zwergbirken	2576
Schneegrenze . . .	8540	Schneegrenze	3300

Wahlenberg theilt Lappland nach dem Wechsel der Vegetabilien und des Klima's in fünf Regionen ein: 1) In die Fichtenregion, welche bis 3200 P. F. unter die Schneegrenze reicht. Hier steht das Thermometer im Mittel auf + 2° C., unten wächst noch Gerste, oben nur mit Noth. 2) Kieferregion, welche sich etwa 3000 Fuß unter die Schneegrenze erstreckt. Hier beträgt die mittlere Temperatur 1,8 C., es reifet kein Korn mehr, und nur unten lohnen Kartoffeln und Rüben den Anbau. 3) Birkenregion bis 2000 Fuß unter der Schneegrenze. Die mittlere Wärme beträgt 1.4 C.; oben kommt auch die Birke nur verkrüppelt vor. 4) Niedere Alpenregion 1400 F. unter der Schneegrenze. Hier schmilzt der Schnee kaum vor Ende Juli, es wachsen nur Zwergbirken und salix myrsinites; die mittlere Wärme ist 1° C. 5) Die hohe Alpenregion, wo an vielen Stellen der Schnee gar nicht wegschmilzt, nur Alpenkräuter mehr wachsen, und die kein Lappe mit seinem Zelte überschreitet. (*Wahlenberg flora Lapponica. Berol.* 1812. Gilb. Ann. 41. 233.)

194. Alle bisher angeführten Umstände zusammengenommen, bestimmen nach dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse, die klimatischen Verhältnisse und den Gang der Wärme an jeder Stelle. Was bis jetzt die Erfahrung über den Wärmezustand der Erdoberfläche gelehrt hat, besteht im Allgemeinen darin: Unser Klima hat sich seit den ältesten Zeiten nicht verschlimmert und die Winter sind nicht strenger geworden. Dieses läßt sich aus dem Gefrieren der Flüsse und Meere, worüber wir vom grauen Alterthume Nachrichten haben, abnehmen. An keinem Orte der Erde erreicht ein gegen jede Strahlung geschütztes, 5—8 Schuh über dem Boden erhöhtes Thermometer 46° C., und im offenen Meere steigt es nur auf 31° C; die größte, ganz sichere, bis jetzt an einem in der Luft aufgehängten Thermometer beobachtete Temperatur ist 30° C., die größte beobachtete Kälte — 56°.2 C. Das Meerwasser hat an der Oberfläche nie eine Wärme von 32° C. Die südliche Halbkugel ist bedeutend kälter als die nördliche. In dieser ist unter 31° Breite Eis keine Seltenheit mehr, von 49° — 60° (wie etwa von Wien bis Petersburg) kommen schon einzelne Polareismassen zum Vorschein, das Feuerland, in einer Breite wie Preußen, hat schon ewigen Schnee. In der nördlichen Halbkugel erstreckt sich das Polareis 9° vom Pole, in der südlichen 18° — 20°, hie und da selbst 30°. Schwimmende Eismassen hat man in beiden Erdhälften 40°, manchmal 41° — 42° vom Pole angetroffen. Die Schneegrenze fällt unter dem Aequator in eine

Höhe von 2460 Toisen über die Meeresfläche, in den Pyrenäen 1400, in den Alpen 1370 Toisen. In der Breite von Spitzbergen scheint sie in die Meeresfläche einzuschneiden. Europa und Afrika sind die verhältnißmäßig wärmsten Erdtheile, Amerika der kälteste. In Europa wird bis zu 67° 20′ Breite Ackerbau getrieben, in Asien hört der Ackerbau unter 60° Br. auf, in Amerika kann selbst unter 51° Br. nicht mehr mit Vortheil gesäet werden. Zur weiteren Beurtheilung der Vertheilung der Wärme und zu weiteren Belegen für die bisher aufgestellten Beobachtungen dienen die folgenden Tafeln, wovon die erstere die Abnahme der mittleren Temperatur bei wachsender Breite in der nördlichen Halbkugel, die zweite die mittlere Temperatur des heißesten und kältesten Monats der nördlichen und südlichen Halbkugel, die dritte endlich die mittlere Jahrestemperatur, so wie die Temperatur des heißesten und kältesten Monats für mehrere Orte angibt.

I.

Nördliche Breite.	Abnahme der mittleren Temperatur. Alte Welt.	Neue Welt.
0°— 20°	2° C.	2° C.
20 — 30	4	6
30 — 40	4	7
40 — 50	7	9
50 — 60	5.7	7.9

II.

Breite.	Mittlere Temperatur. Nördliche Halbkugel.		Südliche Halbkugel.	
0° — 15°	Juni	28.5 C.	Decemb.	28.0 C.
18	October	26.5	April	26.5
22 — 26	Jänner	19.3	Juli	22.5
34 —	Decemb.	15.4	Juni	13.8
43 —	Juli	17.0	Jänner	16.8
48 —	Juni	18.2	Decemb.	15.2
58 —	Juli	13.5	Jänner	6.2

III.

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des Sommers.	Winters.
Cumana	10° 27′	27° 7	27.8	26.8
Colcutta	22 35	26.27	28.36	21.15
Macao	23 8	23.97	29.15	17.55
Havana	23 10	25.6	28.8	21.1
Cairo	30 3	22.19	29.46	14.53

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des Sommers.	Winters.
Algier	36° 48′	21,°28	26,71	16.54
Palermo	38 7	16.77	22,02	11,31
Lissabon	38 43	16,34	21,65	11,42
Cincinati	39 6	12,10	22,82	0,52
Peking	39 54	12.7	28.1	— 3.1
Philadelphia	39 56	11.9	23.3	0.1
New-York	40 40	12.1	26.2	— 1.2
Rom	41 54	15,48	24.08	8.34
Marseille	43 18	12.27	22,74	7.35
Bordeaux	44 50	13.6	21.6	5.6
Turin	45 4	11.68	21.72	1.33
Padua	45 24	13.95	23.14	1.70
Mailand	45 28	13.2	22,8	2.4
Quebek	46 48	5.6	20,1	— 7.9
Nantes	47 13	12,6	20 3	4.7
Ofen	47 29	10,53	21.18	— 0.41
Wien	48 12	10.85	20,68	— 0.03
Paris	48 50	10 81	18.01	3.59
Karlsruhe	48 59	9.97	18.74	1.51
Mannheim	49 29	10.30	19,55	1.50
Würzburg	49 46	10.41	20.04	0.71
Trier	49 48	9.90	18,11	1.47
Prag	50 5	9.70	20.5	— 0.30
Frankfurt am Main	50 7	9.83	18,27	1.42
Brüssel	50 50	11.0	19 0	2.6
Erfurt	50 59	9.08	16.47	— 0.48
Dünkirchen	51 2	10.3	17.8	3.6
Breslau	51 6	7,88	17.25	— 1.02
Düsseldorf	51 15	10.64	17,38	2.77
London	51 31	9.83	16,75	3.22
Göttingen	51 32	8.30	18,20	— 0,90
Haag	52 5	11.13	18,63	3.46
Warschau	52 14	9.2	20.6	— 1.8
Amsterdam	52 22	10.9	18.8	2.7
Berlin	52 31	8.5	17.6	— 0.7
Lüneburg	53 15	9.04	17.25	0.95
Dublin	53 21	9.56	15.34	4.00
Manchester	53 30	8.70	14 81	2.81
Hamburg	53 33	8,90	18.96	0.40
Danzig	54 20	7.68	16,36	— 0.77
Königsberg	54 42	6.49	15.87	— 3.26
Copenhagen	55 41	7.69	17.17	— 0.92
Moskau	55 47	3.26	16.90	—10.50
Edinburg	55 58	8,37	14.07	3.47
Stockholm	59 21	5,64	16.30	— 3.67
Upsala	59 52	5.36	15.79	— 4.02
Christiania	59 55	5.33	15.78	— 3.66
St. Petersburg	59 56	3.8	16.7	— 8.3

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des Sommers.	Winters.
Drontheim	63° 26′	4.°48	16.33	— 4.78
Umeo	63 50	1.90	14.19	—10.46
Uleo	65 0	0.66	14.34	—11.15
Winter-Insel	66 12	—12 5	2.03	—29.03
Nordcap	71 10	0.07	6 38	— 4.63
Melville-Insel . . .	74 45	—18.5	3.14	—33.33

195. Sowohl die täglichen als die jährlichen Variationen der Wärme sind schon bei der obersten Erdschichte geringer als bei der Luft, nehmen aber gegen das Innere der Erde zu immer mehr ab, und verlieren sich endlich ganz. Schon in einer Tiefe von $1^1/_2$—3 F. verschwinden die täglichen, in einer Tiefe von 30—60 F. aber auch die jährlichen Wärmeveränderungen, und über letztere Grenze hinaus herrscht Jahr aus Jahr ein dieselbe Temperatur. Nach Quetelet nimmt der Unterschied zwischen dem jährlichen Maximum und Minimum der Temperatur in der Erde in geometrischer Progression ab, wenn die Tiefe im arithmetischen Verhältnisse wächst, und während, z. B. im mittleren und nördlichen Europa diese Differenz in der Tiefe von 8.6 Meter 1° C. beträgt, beläuft sie sich in einer Tiefe von 15.3 M. nur auf 0°.1, in 22.4 M. Tiefe gar nur auf 0°.01, und kann als verschwindend klein angesehen werden. In der Erdschichte, wo es noch Variationen der Wärme gibt, tritt sowohl das Maximum als das Minimum lange nach der größten oder kleinsten Luftwärme ein, ja in Tiefen von etwa 24 F. fällt die Zeit des Maximum der Erdwärme nahe auf jene des Minimum der Lufttemperatur. (Quetelet in Pogg. Ann. 38. 531.) Die mittlere Temperatur der Erdoberfläche stimmt mit jener der Luft in Orten von mittlerer Breite nahe überein, und wird da, wo nicht chemische Prozesse eine Ausnahme begründen, durch die Temperatur der Quellen angezeigt. In größeren Breiten ist die mittlere Wärme des Bodens (zum großen Vortheile der Vegetation) höher als jene der Luft, in geringeren Breiten niederer, und man kann es als ausgemacht ansehen, daß die Bodenwärme vom Aequator gegen die Pole desto rascher abnimmt, je mehr man sich dem Parallelkreise von 45° nähert, höher hinauf aber einen langsameren Gang befolgt. Die Ursache dieser merkwürdigen und für die Oekonomie der Natur so wichtigen Thatsache liegt darin, daß die äußere Luftwärme in solche Tiefe vorzugsweise nur durch das eindringende atm. Wasser gebracht wird. Da aber dieses nur in mittlerer Breite das ganze Jahr hindurch in die Erde eindringt, während der Boden in kälteren Klimaten nur für das Sommerwasser offen ist, in wärmeren hingegen nur in der kälteren Zeit Regen fällt, so kann nun in ersterem die Quellenwärme mit der mittleren Luftwärme übereinstimmen, und muß in größeren Breiten höher, in kleineren aber geringer seyn als die der

Luft. Die Linien gleicher Luftwärme sind von denen gleicher Erdwärme in vielen Stücken verschieden, und beide stimmen nur darin mit einander überein, daß sie nicht mit dem Aequator parallel laufen. Uebrigens hängen letztere so gut von der geographischen Länge ab, wie erstere. (Humboldt in Gilb. Ann. 24. 46; Buch in Pogg. Ann. 12. 403; Kupffer ebend. 15. 159.) Folgende Tafel zeigt den Unterschied zwischen der Boden- und Lufttemperatur:

Ort.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Congo	9 ° S	18 2	20.5	450 M
Cumana	10¼ N	20 4	27.7	0
St. Jago (Cap verdischen Inseln)	15 N	19.6	20.0	0
Rockfort (Jamaica) . .	18	20.9	21.6	0
Havana	23	18.8	20.5	0
Nepaul	28	18.6	20.0	0 (?)
Teneriffa	28½	14.4	17.3	0
Cairo	30	18.0	18.0	0
Cincinati	49	9.9	9.7	160
Philadelphia	40	10.2	9.9	0
Carmeaux	43	10.4	11.5	300 (?)
Genf	46	8.9	7.7	350
Wien	48	8.5	8.5	136
Paris	49	9.2	8.7	73
Berlin	52½	8.1	6.4	40
Dublin	53	7 7	7.6	0
Kendal	54	7.0	6.3	0
Keswick	54½	7.4	7 1	0
Königsberg	54½	6.5	5.0	0
Edinburg	56	7.0	7.0	0
Carlscrona	56¼	6.8	6.8	0
Upsala	60	5.2	4.5	0
Umeo	64	2.3	0.6	0
Giwarten-fiäll	66	1.0	— 3.0	500
Enontekis	66	1.2	— 4.9	
Radsoe	—	2.2	— 3.6	

Nach Rudberg's Beobachtungen ist die Temperatur der Erdrinde zu Stockholm wenigstens bis zu 3 F. Tiefe von der Tiefe unabhängig, und zur Zeit beider Aequinoctionen in verschiedenen Tiefen dieselbe. (Pogg. Ann. 33. 251.)

196. Die Wärmeverhältnisse im Inneren der Erde sind verschieden, je nachdem sie sich auf das Weltmeer oder auf den festen Theil der Erde beziehen. Die Natur eines so beweglichen Körpers, wie das Wasser ist, wo die schwereren Theile fortwährend zu Boden sinken, bringt es mit sich, daß dessen Temperatur von außen nach innen abnimmt. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) erfolgt diese Abnahme ziemlich rasch, wird aber nach einwärts immer langsamer und endlich unmerklich. Die Tiefe, wo dieses Statt findet, scheint mit dem Zu-

nehmen der Breite immer aufwärts zu rücken; sie beträgt bei 41°—32° Breite 200—300 T., bei 21° Br. 400 T. Die niedrigste Temperatur, welche Lenz fand, war 2°.2. Die Untersuchung erstreckte sich auf 1000 T. Tiefe. Anders verhält es sich mit der Temperatur im festen Theile der Erdrinde. Wäre die Temperatur der Erde bloß von der Einwirkung der Sonne abhängig, so müßte sie gegen innen sehr rasch abnehmen; die Erfahrung lehrt aber, daß die Temperatur der Erde gegen den Mittelpunkt zu wächst. Man hat dieses aus Beobachtungen abgenommen, die man in natürlichen oder künstlichen Höhlen (Schachten oder Bohrlöchern) an Stellen machte, wo der Einfluß der äußeren Luft nur klein seyn konnte, und jede Erwärmung durch Menschen und Lichter möglichst gemieden wurde, oder an wasserreichen artesischen Brunnen. Ueber das Gesetz dieser Zunahme der Wärme hat man noch nichts Sicheres ausmitteln können. Die wasserreichen artesischen Brunnen um Wien geben in einer Tiefe von 80 F. eine Zunahme der Temperatur von 1° R., und eben dieses lehren im Durchschnitte die in England, Frankreich, Deutschland und Rußland vorgenommenen Messungen derselben Art. Es ist nicht leicht, diese Zunahme der Wärme in der Erde anders zu erklären, als durch die Annahme, die Erde habe in ihrem Innern noch einen bedeutenden Rest ihrer ursprünglichen Wärme; doch ist gewiß, daß sich die Temperatur der ganzen Erde seit 2000 Jahren nicht um $^1/_{10}$° vermindert habe, denn eine solche Veränderung der Erdwärme wäre mit einer Volumveränderung verbunden, die sich durch ihren Einfluß auf die tägliche Umdrehungszeit der Erde deutlich kund hätte geben müssen, und der den Beobachtern gewiß nicht entgangen wäre. (Cordier in Schweigg. J. 52. 365; *Ann. de Chim.* 13. 283. Arago in seinen *Annuaire pour l'an* 1834. *p.* 171. Pogg. Ann. 31. 365; 32. 284; 34. 191; 35. 109. Die Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers ꝛc. von Dr. G. Bischof. Leipzig 1837.) Ueber dieses Kapitel ist als Hauptquelle anzusehen: *Recherches sur les causes des inflexions des lignes isothermes*, und: *Considérations sur le temp. et l'état hygrom. de l'air dans quelques parties de l'Asie. Par M. de Humboldt* in dessen *Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques. Paris* 1831.

Viertes Kapitel.

Luftströmungen.

197. Jede im Verhältnisse zur Erdoberfläche fortschreitende Bewegung der Luft heißt Wind. Die zugleich mit der Erde Statt findende Axendrehung der Atmosphäre macht daher keinen Wind, wohl aber muß jede Aenderung der Ausdehnsamkeit der Luft einen solchen erzeugen. Lüftchen, Sturm, Orcan sind nur dem Grade nach verschiedene Winde. Die verschiedenen Winde unterscheiden sich von einander vorzüglich durch ihre Richtung und Stärke, welche letztere wieder von ihrer Geschwindigkeit abhängt.

198. In der Regel benennt man einen Wind nach der Weltgegend, von welcher er bläst. Stimmt diese nicht mit einer der vier Hauptweltgegenden überein, so setzt man den Namen aus den Hauptweltgegenden zusammen, zwischen welche seine Richtung fällt, nennt aber immer Süd oder Nord zuerst. So führt ein Wind, der von einer Gegend herbläst, die mitten zwischen Nord und West liegt, den Namen Nordwestwind (nicht Westnordwind), jener, dessen Richtung mitten zwischen Süd und Ost liegt, Südostwind (nicht Ostsüdwind). Winde, die aus einer Gegend kommen, welche zwischen Nordost, Südost, Südwest, Nordwest und einer Hauptweltgegend liegt, bekommen den Namen aus dieser und der Hauptgegend. Sie heißen demnach Nordnordost-, Ostnordost-, Ostsüdost-, Südsüdost-, Südsüdwest-, Westsüdwest-, Westnordwest-, Nordnordwestwinde. Man erkennt die Richtung der Winde aus der Richtung freistehender Dachfahnen, aus der Bewegung der zarten Baumäste, in Ermanglung eines andern Mittels auch aus der schiefen Richtung einer herabfallenden Feder. Ein benetzter in die Luft emporgehobener Finger ist stets an der Windseite am kältesten.

199. Die Stärke (Geschwindigkeit) des Windes berechnet man aus der Bewegung eines leichten Körpers, z. B. einer Feder, aus dem Parameter der Bahn eines durch den Wind fortgetriebenen und zugleich durch die Schwere vertical herabgezogenen Körpers oder mittelst eigener Instrumente, die Anemometer heißen, und unmittelbar entweder die Höhe angeben, bis zu welcher ein bestimmtes Gewicht durch den Wind gehoben wird, oder die Größe der Verschiebung einer bestimmten Last oder endlich die Umdrehungszahl kleiner Windflügel, aus denen sich durch Rechnung die Geschwindigkeit finden läßt. Wollastons Differenzialbarometer dürfte auch ein hierzu brauchbares Werkzeug abgeben. Herrscht nämlich an einem Orte der Luftdruck p, an einem anderen der Druck g, so geht nach Schmidt aus diesem Unterschiede des Druckes ein Wind von der Geschwindigkeit $v = \frac{p-g}{2} \cdot 1215$ P. F. hervor. Die Größen p und g mißt man aber am leichtesten mittelst des letztgenannten Instrumentes. (Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels von Woltmann. Hamburg 1790. Schmidt's Windmesser in Pogg. Ann. 14. 59.) Mäßige Winde haben in unseren Gegenden eine Geschwindigkeit von 12—15 F., bei einer Geschwindigkeit von 32 Fuß gehören sie schon zu den Stürmen. Man will aber schon Stürme von 120 F. Geschwindigkeit beobachtet haben.

200. Alle Bewegungen der Luft werden zunächst durch eine Aenderung ihrer Ausdehnsamkeit hervorgebracht, und diese Ausdehnsamkeit wird höchst wahrscheinlich in der Atmosphäre fast immer durch die Temperatur geändert. Tritt nämlich an einer Stelle der Luft eine Temperaturerhöhung ein, so wird daselbst die Ausdehnsamkeit gesteigert, es erfolgt eine Luftverdünnung, und in Folge dieser ein Aufsteigen der Luft, welches wieder ein Zuströmen von den Seiten nothwen-

dig macht. Die aufsteigende Luft muß zur Herstellung des Gleichgewichtes oben wieder seitwärts abfließen, und somit hat eine Erwärmung eine dreifache Luftbewegung zur Folge, ein Aufsteigen, ein Zuströmen zur erwärmten Stelle in der unteren und ein Wegströmen von derselben in der oberen Region. Etwas ähnliches bewirkt eine Verminderung der Temperatur. Die Sonne erzeugt vermöge ihrer erwärmenden Kraft unabläßig solche Strömungen, und es sind jene Stellen der Erde, welche die größte Erwärmung erleiden, als die Mittelpunkte der Luftströmungen anzusehen. Diese Stellen rücken natürlich wegen der Axendrehung der Erde in einem Parallelkreise um die Erde herum, und es muß die Richtung der Strömungen durch die Axendrehung modificirt werden. So z. B. muß die aufsteigende Luft, da sie nicht die der größeren Höhe entsprechende größere Umdrehungsgeschwindigkeit hat, schief von Ost gegen West aufsteigen, und der von Nord oder Süd kommende Strom muß, wenn er von einer größeren geographischen Breite in eine kleinere kommt, eine nordöstliche oder südöstliche Richtung annehmen.

201. Die größte, als solche das ganze Jahr hindurch anhaltende Erwärmung der Erde findet bekanntlich in der heißen Zone, und zwar vorzugsweise in jenem Parallelkreise Statt, welcher die senkrechten Strahlen der Sonne empfängt. Daselbst muß daher das vorerwähnte Aufsteigen der Luft und ein Zuströmen von allen Seiten eintreten. Die aus Nord und Süd kommenden Ströme haben eine kleinere Rotationsgeschwindigkeit, als der Gegend entspricht, wohin sie zielen, sie bleiben darum in der Richtung von West nach Ost zurück, und erscheinen demnach als östliche Ströme. Darum muß dort, wo die Sonne im Zenith steht, und wohl auch in einiger Entfernung davon, ein beständiger Ostwind (Passatwind) herrschen. Da, wo die zwei entgegengesetzten Ströme gleiche Stärke haben, heben sie sich auf, und der Wind erscheint rein östlich; außerhalb dieser Grenze aber entsteht durch Zusammensetzung des Nordstromes mit dem aus der Aerndrehung der Erde hervorgehenden Oststrome ein N. O., durch Zusammensetzung des Südstromes mit demselben Ostwinde ein S. O. Wind. Demnach hat man drei Gürtel. In dem mittleren derselben herrscht ein schwacher Ostwind, der oft von Stürmen unterbrochen wird, und diese Region heißt die der Calmen. An der Nordseite dieser Region ist die des N. O. Passates, an der Südseite jene des S. O. Passates. Behielte die Sonne immer dieselbe Abweichung, so würden diese Zonen unverändert bleiben, wegen der Aenderung der Abweichung der Sonne rücken sie aber insgesammt gegen Nord oder Süd, je nachdem die Sonne gegen den nördlichen oder südlichen Wendekreis zugeht. Die mittlere Breite der Region der Calmen ist nahe 6°, aber im August wächst die Breite dieses Gürtels $9^{\circ 3}/_4$, und vermindert sich im December auf $2^{\circ 1}/_4$. Die Breite der Zone zwischen dem N. O. und S. O. Passate wechselt in verschiedenen Jahreszeiten zwischen $3^{\circ}\,{}^1/_3$ und 8° 5′, und beträgt im Durchschnitte 5° 52′. Der N. O. Passat herrscht zwischen 2° u. 23° n. B., der S. O. Passat zwischen 3° u. 21° s. B.

Demnach liegt der größere Theil der Region der Calmen in der nördlichen Halbkugel. Diese Windverhältnisse treten über großen Meeren am reinsten hervor, weil da die Erwärmung weniger durch fremdartige Einflüsse gestört wird als auf dem festen Lande, wo die verschiedene Erwärmungsfähigkeit des Bodens das Entstehen anderer Luftströmungen begünstiget. In der That bemerkt man den Passat auch am deutlichsten in den drei großen Meeren der heißen Zone, im großen Oceane zwischen Amerika, Asien und Neuholland, im atlantischen und im indischen Meere, jedoch mit Modificationen, die von den Eigenthümlichkeiten dieser Meere, von der Nähe der Küsten, von der Gestalt, Erhebung und Richtung derselben, und ihrer verschiedenen Erwärmungsfähigkeit herrühren. Dadurch werden die Passatwinde auch in die beständigen Küstenwinde umgewandelt. Der an der Westküste Mexico's herrschende beständige Westwind, der an den brasilianischen Küsten wehende Südwind verdankt denselben Verhältnissen seinen Ursprung. Dem unteren Passatwinde muß in der oberen Luftregion ein gerade entgegengesetzter entsprechen, und demnach nördlich von dieser Region ein Südweststrom, südlich davon ein Nordweststrom bestehen. Denn es ist klar, daß, wenn beständig die Luft von den Polen gegen den Aequator hinströmt, die am Aequator aufsteigende in den oberen Regionen gegen die Pole abfließen müsse. In der heißen Zone befinden sich diese zwei Ströme, der Aequatorial- und der Polarstrom, deren jeder eine bestimmte Richtung hat, über einander, und davon rührt die große Regelmäßigkeit der Windverhältnisse dieser Gegenden her. Je weiter der Aequatorialstrom sich von seinem Ursprunge entfernt, desto mehr kühlt er sich ab und sinkt herunter, so daß zuletzt beide Ströme neben einander hinfließen. In welcher Höhe die Grenze der zwei entgegengesetzten Passate liege, ist nicht ganz ausgemacht. Auf der Silla de Caraccas fand Humboldt den Passat noch in der Höhe von 1350 Klaftern, auf Teneriffa herrscht aber schon in der Höhe von 1500 Kl. ein Westwind.

202. Einige Gegenden gehören immerfort der Region der Passatwinde an, wiewohl diese Region der Sonne folgt, und sich daher mit ihr nach N. und S. verschiebt, in anderen herrscht der Passatwind nur einen Theil des Jahres hindurch, so lange nämlich die Sonne, vermöge ihrer Abweichung, diese Gegend zur Passatregion macht. Daselbst tritt also der Passatwind schon als ein periodisch wiederkehrender und aussetzender Wind auf. Dieses ist im atlantischen Ocean zwischen 24—32° n. Br. der Fall. Solche an bestimmte Jahreszeiten gebundene Winde heißen Moussons. Sie herrschen einen Theil des Jahres hindurch nach einer bestimmten Richtung, und setzen den übrigen Theil ganz aus oder wehen nach entgegengesetzter Richtung. Von letzterer Art sind die in einem großen Theile des indischen Meeres, an den Küstenländern Asiens und Afrika's herrschenden Winde. Ihr Grund liegt in der ungleichen Erwärmung der dieses Meer einschließenden Länder, welche zur selben Zeit gerade entgegengesetzte Jahreszeiten haben. Während der nördlichen Abweichung der Sonne haben

wirklich nördlich gelegene Grenzländer die höhere Temperatur, und der Wind weht über das Meer aus Südwest, während der südlichen Abweichung der Sonne hingegen kommt den südwestlich gelegenen Ländern die höhere Temperatur zu, und darum herrscht über dem Meere ein Nordostwind. (Dove in Pogg. Ann. 21. 177.)

203. Von derselben Art, wie die letztgenannten Winde, sind auch die Land- und Seewinde, nur mit dem Unterschiede, daß ihre Periode nicht ein Jahr, sondern nur einen Tag beträgt. An den Küstenländern blaset nämlich Nachts in der Regel der Wind vom Land zur See, des Tages von der See auf das feste Land hin, weil sich das Land bei Tage eher und stärker erhitzt als der Spiegel des Wassers, Nachts aber auch schneller und stärker abkühlt. Solche Winde herrschen nicht bloß an den Küstengegenden des Meeres, sondern auch an den Ufern großer Seen, wie z. B. am Gardersee, am Bodensee ꝛc.

204. Die zwei entgegengesetzten Hauptströme, welche die Windeverhältnisse der heißen Zone bestimmen, sind auch die Hauptursachen der in den gemäßigten und kalten Erdgürteln herrschenden Luftbewegungen. Daß dieselbe im letzteren nicht so regelmäßig vor sich gehen wie im ersteren, ja daß es sogar in den Augen des im Beobachten Ungeübten den Anschein haben mag, als wenn in Bezug auf Windesrichtung in der gemäßigten und kalten Zone gar keine bestimmte Regel gälte, rührt nur von dem Umstande her, daß hier die zwei Luftströme nicht mehr über sondern neben einander hinfließen, daß jeder derselben in mehrere Arme getheilt seyn kann, und daß sie durch die Axendrehung der Erde in ihrer Richtung fortwährend modificirt werden, und sich gegenseitig zu verdrängen suchen. Es wird nämlich durch den Einfluß der Axendrehung der Erde, und zwar vermöge der verschiedenen Rotationsgeschwindigkeit der einzelnen Punkte der Erdoberfläche auf der nördlichen Halbkugel der Nordstrom beim allmäligen Fortrücken gegen den Aequator immer mehr östlich, der Südstrom immer mehr westlich, während in der südlichen Himmelssphäre gerade das Gegentheil Statt findet, d. h. es geht ein Nordwind der nördlichen Halbkugel durch N. O. in O., ein Südwind durch S. W. in W. über, und dieser wird von neuen Polarströmen in N. W. und W. umgewandelt. Da nun der Nordstrom von einem Südstrome und dieser wieder nur durch einen Nordstrom verdrängt werden kann, so muß der Wind im Durchschnitte in der Richtung S. W. N. O. S. wechseln, und nicht umgekehrt. In der südlichen Halbkugel erfolgt die Drehung im entgegengesetzten Sinne. Daß der nördliche Strom, als der kältere, immer zuerst in den unteren, der südliche, als der wärmere, zuerst in den oberen Regionen eintreten müsse, ist für sich klar, so wie es eine natürliche Folge des vorgenannten Drehungsgesetzes ist, daß die Winde der Westseite dem Uebergange des südlichen Stromes in den nördlichen, die der Ostseite dem Uebergange des nördlichen in den südlichen begehren.

205. Was nun die Windeverhältnisse einzelner Orte anbelangt, so hat Schouw gezeigt, daß die an jedem Orte herrschende mitt-

lere Richtung der Winde nahe eine beständige Größe sey. Sie zeigt, daß im nördlichen mittleren Europa die Winde der Westseite über jene der Ostseite das Uebergewicht haben, daß aber dieses Uebergewicht vom atlantischen Ocean gegen das Innere des Landes hin abnehme. Nahe am atlantischen Meere haben die westlichen Winde mehr eine südliche Richtung, gegen das Innere des Landes werden sie gerade West- oder Nordwestwinde. Im südlichen Europa haben die nördlichen Winde das Uebergewicht. Im Winter ist die Windesrichtung meist südlicher als durchschnittlich im übrigen Theile des Jahres, im Frühlinge treten oft Ostwinde, im Sommer Westwinde und im Herbste Südwinde ein. Daß auch die Tageszeit auf die Windesrichtung einen Einfluß ausüben müsse, ist für sich klar, aber noch nicht näher durch Beobachtungen bestimmt. Die Stärke der Winde ist im Winter (Jänner und Februar) am größten; sie hängt auch von der Tageszeit ab, und scheint vom Morgen gegen Mittag zu wachsen und von da wieder abzunehmen.

Man darf nicht vergessen, daß das, was man mittlere Windesrichtung nennt, nur eine durch Rechnung gefundene, nicht wirklich vorhandene Größe sey, etwa wie die mittlere Temperatur oder die Resultirende einer gegebenen Anzahl von Kräften; deßungeachtet ist die Einführung dieser Größe von großem Nutzen. Sie versinnlichet uns gleichsam das Daseyn zweier neben einander befindlichen Ströme, deren einer eine nordöstliche, der andere eine südwestliche Richtung hat, deren Grenzlinie veränderlich ist, und bald jenes, bald dieses Land trifft. Die geringe Erwärmung des atlantischen Oceans während des Sommers verstärkt, die geringe Erkaltung des Oceans im Winter schwächt die westliche Richtung des Windes. Bezeichnet man die Richtung des Südwindes mit 0°, die des Westwindes mit 90°, des Nordwindes mit 180° und des Ostwindes mit 270°; so ist die mittlere Windesrichtung in England 60°, Frankreich und Niederlande 88°, Deutschland 76°, Dänemark 62°, Norwegen 59°, Rußland, Polen und Ungarn 177°. (Meteorologische Untersuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Beiträge zur Climatologie von Schouw 1. Heft. Dove in Pogg. Ann. 13. 583. Schübler und Kämtz in Schweigg. J. 52. 257; 55. 135. *Tableau des vents, des marées et des courans etc. par Romer. Paris* 1806)

206. Die Winde, meistens ein Erzeugniß der Temperaturveränderungen, nehmen selbst einen großen Einfluß auf die Temperatur der Luft, so daß jedem Winde an einer bestimmten Stelle der Erde eine bestimmte mittlere Temperatur entspricht, und es also wirklich eine thermische Windrose gibt. Die mehr nördliche Windesrichtung setzt im Sommer die Temperatur herab, die mehr südliche erhöht sie im Winter, im Frühling und Herbst ist dieser Einfluß von geringerer Bedeutung, doch schließt sich der Frühling an den Sommer, der Herbst an den Winter an. Die Temperaturunterschiede der Winde sind nicht das ganze Jahr gleich, sondern nehmen von den kälteren zu den wärmeren Monaten hin ab; derselbe Wind hat auch nicht das ganze Jahr hindurch einerlei thermischen Werth, der N. O. ändert sich in dieser Beziehung am meisten, der S. W. am wenigsten. Bei O. S. O. und S. Winden steigt das Thermometer, bei S. W. geht es von Stei-

gen in Fallen über, bei W. N. W. und N. Winden fällt es, und bei N. O. geht es vom Fallen in Steigen über. Der kälteste Wind kommt bei uns durchschnittlich etwas östlich von N., der wärmste etwas westlich von S. Im Winter und Frühling kommt der kälteste Wind mehr von O., der wärmste mehr W., im Sommer aber liegt der Ort des kältesten Windes westlich von N., der des wärmsten östlich von S. Am merkwürdigsten sind in Bezug ihres Einflusses auf die Temperatur die heißen, trockenen, vielleicht giftigen Winde, welche in südlichen Ländern zeitweilig herrschen, und in verschiedenen Orten verschiedene Namen führen, wie Sirocco, Chamsin, Samum und Harmattan. (Kämtz in Schweigg. J. 30. 145.)

Sirocco heißt in Italien der ermattende, besonders nervenschwächende unangenehm afficirende Südwind. Er erstreckt sich bis nach Tirol und Steiermark. Chamsin, Samum und Harmattan ist ein heißer, erstickender Wind, der in Arabien, Persien, Syrien, Nubien und Aegypten rc. zeitweilig herrscht. In letzteren Ländern heißt er Chamsin (arabisch: fünfzig, weil er fünfzig Tage wehen soll). Rußegger, der ihn selbst beobachtete, sagt, er folge immer auf heitere, windstille, drückend heiße Tage, beim Eintritte desselben erheben sich dichte schwarze Wolken, denen bald andere feuerrothe folgen, es verbreitet sich ein strahles, röthlich gelbes Licht, Thiere und Menschen verbergen sich. Bald unterbricht ein dumpfes Rasseln und Knistern die Todtenstille, die Wolken scheinen sich auf die Erde hinzuschieben, und in einem Nu ist man mit Sand und Staub bedeckt. Häufig schließt ein Regen und ein heftiges Gewitter dieses Phänomen. Dieser Wind weht nur in der Regenzeit, und zwar im Anfange derselben, und kommt meist aus S. O. Der Samum ist nach diesem Beobachter ein Wind der Wüste, er weht zu verschiedenen Jahreszeiten, aus verschiedenen Weltgegenden, und ist nicht periodisch wie der Chamsin. Er ist ein gewöhnlicher, über den stark erhitzten Boden hinstreichender, viel Staub und Sand mit sich führender Sturmwind.

Fünftes Kapitel.

Oscillationen der Atmosphäre.

207. Wenn man ein Barometer nur eine kurze Zeit hindurch beobachtet, so überzeugt man sich, daß es beständigen Veränderungen unterworfen sey, und bald in schnelleren, bald langsameren, bald größeren, bald kleineren Oscillationen steige und falle. Einige dieser Veränderungen kommen von den Variationen der Wärme, durch welche das Quecksilber specifisch schwerer und leichter wird; man kann aber den jedesmaligen Barometerstand durch die I. 181 angegebene Correctionsmethode von diesem Einflusse unabhängig darstellen, und sich überzeugen, daß wirklich Aenderungen im Luftdrucke vorgehen. Eine gute Uebersicht aller innerhalb einer bestimmten Zeit vorfallenden Barometerveränderungen gewinnt man aus einer graphischen Darstellung derselben.

208. Die Aenderungen im Barometerstande sind weder an allen Orten gleich groß, noch erfolgen sie gleichzeitig. Die mittlere

Veränderung des Barometerstandes, d. h. das arithmetische Mittel aus der Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Barometerstande in jedem Monate des Jahres, richtet sich nach der Höhe, geographischen Breite und Länge des Ortes und nach anderen Localverhältnissen. Sie wächst mit der geographischen Breite. Doch soll sie in der südlichen Halbkugel bei derselben Breite größer seyn als in der nördlichen. Am Aequator und zwischen den Wendekreisen beträgt die mittlere Barometerveränderung etwa 0.5 L., in der Nähe der Wendekreise 4 L., und in der gemäßigten Zone 5—12 L. (In Wien beträgt sie 9 L.) Sie wächst in der gemäßigten Zone mit der Höhe, und nimmt in der kalten Zone mit derselben ab. An der Ostküste von Amerika ist diese Veränderung bei gleicher Breite größer als an der Westküste von Europa, und nimmt auch von da gegen das Innere von Europa immer mehr ab, so, daß Linien, welche Orte von gleichen Aenderungen des Luftdruckes mit einander verbinden (isobarometrische Linien), von der amerikanischen Küste an nach Norden hinaufsteigen, bis sie das Innere Asiens erreichen, von wo sie sich wieder zu senken scheinen. Ueber der See scheint sich der Barometerstand öfter und regelmäßiger zu ändern als in Binnenländern. Uebrigens bleibt für einen und denselben Ort die mittlere Barometerveränderung von einem Jahre zum anderen nahe gleich. Die höchsten, den einzelnen Monaten entsprechenden Barometerstände weichen von einander zwei- bis dreimal stärker ab als die niedrigsten. (Dove in Pogg. Ann. 24. 205.)

209. Der Luftdruck ändert sich weder zu allen Zeiten noch an allen Orten gleich schnell. In der heißen Zone nimmt derselbe von den kälteren Monaten nach den wärmeren hin ab, und steigt wieder mit abnehmender Wärme; in der gemäßigten Zone ist er im Jänner am größten, sinkt bis zum April, erreicht im Sommer ein zweites Maximum und im Herbste ein zweites Minimum. Der Unterschied zwischen dem größten und kleinsten Werthe des Druckes nimmt mit der Höhe zu. In der kalten Zone zeigt sich nach Parry's und Scoresby's Beobachtungen im Frühlinge der höchste, im Sommer der tiefste Barometerstand. In der Regel ändert sich der Barometerstand im Winter häufiger als im Sommer, am meisten aber in den Nachtgleichen. Die Größe der Oscillationen des Barometers in jedem Monate ersieht man aus folgender Tabelle, wo die auf Wien Bezug habenden Resultate aus einem eilfjährigen Durchschnitte erhalten sind.

Monat.	Teneriffa Br. 28° 20′	Rom Br. 41° 53′	Wien Br. 48° 12′	Berlin Br. 52° 31′	Upsala Br. 59° 40′	Umeo Br. 63° 50′
	P. L.					
Jänner	7.033	11 24	11.616	16.48	15.99	16.05
Februar . . .	5.627	10.215	11.566	15.45	15.34	18.42
März	3.345	9.540	9.728	13 90	15.13	16.40
April	4.500	7.960	9.720	11.16	13.40	12.80
Mai	3.150	7.035	7.620	9.48	11.82	14.47
Juni	1.870	4.895	6.912	7.64	9.93	10.74
Juli	2.060	4.225	6.228	7.94	8.29	8.00
August	2.060	4.075	5.943	7.34	9.81	10.59
September . .	2.250	5.700	8.544	11.28	11.61	14.63
October . . .	3.657	7.610	11.052	11.04	14.29	16.6
November . . .	3.376	8.690	9.384	14.40	16.27	15.62
December . . .	4.220	10.015	10.632	14.22	15.32	18.05
Jährl. Durchschn.	3.595	7.616	9.097	11.69	13.10	14.36

210. Zwischen den Wendekreisen zeigen schon 24stündige Barometerbeobachtungen, daß die Oscillationen des Druckes der Atmosphäre periodisch wiederkehren, und daß täglich zwei Maxima und zwei Minima Statt finden. Dieses mußte wohl auf den Gedanken bringen, es gebe auch außer den Wendekreisen solche regelmäßige Schwankungen des Barometers, aber man erkennt sie nicht unmittelbar, weil sie durch andere unregelmäßig eintretende unkenntlich gemacht werden; nur aus einer sehr großen Anzahl zu derselben Stunde angestellter Barometerbeobachtungen, bei denen sich die unregelmäßigen Schwankungen des Druckes aufheben, kann man deren Daseyn auch in dieser Zone erkennen. Gegenwärtig ist der Zustand unserer Kenntnisse in diesem Fache folgender: Fast auf der ganzen Erde, vom Aequator bis zu einer Breite von 79° und zu einer Höhe von 2000 Klaftern, erlangt das Barometer täglich zweimal seinen höchsten und eben so oft seinen niedrigsten Stand, und zwar ersteren zwischen 8½ und 10½ Uhr früh und zwischen 9 und 11 U. Abends, letzteren zwischen 3 u. 5 U. Abends und zwischen 3 u. 5 U. Morgens; nur in Ostindien sollen diese Variationen, nach Horsburgh's Beobachtungen, von dieser Regel abweichen und zur Regenzeit an einigen Orten ganz ausbleiben. Man erkennt diese periodischen Schwankungen nicht allenthalben gleich leicht. Zwischen den Wendekreisen reicht eine sehr kurze Zeit hin, in einer Breite von 44° bis 48° braucht man dazu wenigstens durch 15 bis 20 Tage fortgesetzte Beobachtungen. In der gemäßigten Zone ist im Winter die Zeit des vormittägigen und die des nachmittägigen Minimums dem Mittage um 1 — 2 Stunden näher als im Sommer. In der heißen Zone ist die Zeit des höchsten und niedrigsten Barometerstandes an der Meeresfläche und auf Gebirgsebenen, die eine Höhe von 1300 — 1400 Klafter haben, dieselbe; in der gemäßigten Zone ist dieses wenigstens nicht überall der Fall, und es tritt das Maximum in der Höhe früher ein als unten. In der

Nähe des Maximums und Minimums ist der Barometerstand völlig stationär, und zwar während einer Zeit, die von 15 Minuten bis 2 Stunden wechselt. Zwischen 15° nördlicher und südlicher Breite haben Winde, Erdbeben, und die bedeutendsten Aenderungen der Temperatur und des Feuchtigkeitszustandes der Luft auf die Wiederkehr des Maximums und Minimums keinen Einfluß. Die Größe der täglichen Variationen des Barometerstandes nimmt gegen die Pole zu ab, wie man aus der nachfolgenden Tafel ersieht, und ist in der Regel im Sommer größer als in den anderen Jahreszeiten, besonders im Winter, und wenigstens in der gemäßigten Zone in der Höhe geringer als in der Tiefe. (Pogg. Ann. 8. 131; 9. 148; 11. 27; 27. 345. Schweigg. J. 46. 438; 47. 137; 51. 169; 59. 129.)

Ort.	Geogr. Breite.	Variat. in Millim.	Ort.	Geogr. Breite.	Variat. in Millim.
Quito . . .	0°	2.82	Marseille . .	43° 18′	0.72
Guayna . . .	10° 36′	2.44	Straßburg . .	48° 34′	0.80
Jamaika . .	17° 56′	1.45	Paris . . .	48° 50′	0.76
Can. Inseln .	28° 8′	1.10	London . . .	51° 31′	0.38
Rom	41° 54′	0.70	—	74° 0′	0.10

211. Die **Ursachen** dieser regelmäßigen Veränderungen des Druckes der Atmosphäre sind zweierlei, **dynamische** und **physische**; erstere haben in der Anziehung der Sonne und des Mondes, letztere in der erwärmenden Kraft der Sonne und im Dunstgehalte der Luft ihren Grund. Sonne und Mond bewirken nämlich durch ihre anziehende Kraft in der Atmosphäre eben so wie im Meere eine Ebbe und Fluth, die innerhalb jedes Umlaufes dieser Himmelskörper zweimal eintreten, überdieß ändern sie durch die im Meere bewirkte Ebbe und Fluth die Basis der Atmosphäre und die Gestalt der Erde, mithin die Kraft, mit welcher letztere auf die Atmosphäre wirkt. Der Rechnung nach sind diese Wirkungen so gering, daß man sie füglich für unmerklich ansehen kann (Pogg. Ann. 13. 137). Beobachtungen weisen aber dem Monde einen entschiedenen Einfluß auf den Luftdruck ein, nur scheint es, als fehlte es zur genauen Bestimmung desselben noch an einer hinreichenden Anzahl in dieser Beziehung angestellter Beobachtungen. Den größten Einfluß auf das in Rede stehende Phänomen hat unstreitig die physische Einwirkung der Sonne. Durch die erwärmende Kraft derselben wird die Expansivkraft der Luft vermehrt, ein aufsteigender Luftstrom und ein Abfließen der Luft zu beiden Seiten des Mittelpunktes der Erwärmung erzeugt, und es muß daraus täglich zur Zeit der größten Luftwärme ein Minimum des Druckes, zur Zeit der geringsten Wärme ein Maximum desselben Statt finden, und das Barometer gleichsam den verkehrten Gang des Thermometers befolgen. Gäbe es demnach keine andere Wirkung der Sonne, so könnte täglich nur **ein** Maximum und **ein** Minimum des Luftdruckes Statt finden. Allein, indem die Sonne erwärmend auf die Luft wirkt, befördert sie auch die Dunstbildung; durch Zunahme der Dünste

wird aber der Druck der Atmosphäre vergrößert, es entsteht ein Maximum des Dunstdruckes zur Zeit, wo ein Minimum des Luftdruckes Statt findet, und umgekehrt, und durch Zusammenwirkung dieser zwei Momente entstehen täglich zwei Maxima und zwei Minima des Barometerstandes, indem die von der Dunstbildung herrührende Wirkung jener von der unmittelbaren Erwärmung der Luft herstammenden zwar entgegengesetzt, aber nicht völlig gleich ist. Die täglichen Veränderungen des Barometers sind daher der Erfolg der Unterschiede zweier von einander verschiedenen Veränderungen, des Druckes der trockenen Luft und jenes der Wasserdünste. An Orten, wo eine Gleichheit dieser zwei Wirkungen eintritt, müssen die täglichen, regelmäßigen Schwankungen unterbleiben, wie dieses in einigen Gegenden Ostindiens der Fall ist. Daß sich alles dieses in der That so verhalte, wie hier aus theoretischen Gründen wahrscheinlich gemacht worden ist, können nur Nachweisungen aus Beobachtungen darthun, bei denen die Aenderungen des Druckes der trockenen Luft von den Aenderungen der mit Wasserdünsten gemengten scharf geschieden werden. Dieses hat Dove zu thun versucht, und dazu die Beobachtungen, welche Neuber zu Apenrade angestellt hat, benützt. Er fand, daß der Druck der trockenen Luft sowohl als jener der Dünste täglich nur ein Maximum und ein Minimum habe, daß jener wachse, wenn dieser abnimmt, und umgekehrt, und daß der aus beiden hervorgehende Druck der Atmosphäre in der That täglich zweimal einen größten und eben so oft einen kleinsten Werth erlange. Indeß befolgt der Wasserdunst nicht überall einen der Wärme so gemäßen Gang wie zu Apenrade, wenn ja die Hygrometerbeobachtungen zu Lyon, Paris, Genf ꝛc. denen zu Apenrade gegenübergestellt werden können, und obige Ansicht bedarf daher noch einer weiteren Begründung, um so mehr, als Snow Harris zeigt, daß die täglichen Schwankungen des Barometers mit der veränderlichen Stärke des Windes im Zusammenhange stehen. (Dove in Pogg. Ann. 22. 219. Flaugergues in Zeitsch. 4. 231. Schweigg. J. 59. 1. Kämtz ebend. 59. 129, 154.)

212. Die Ursachen der unregelmäßigen Veränderungen des Luftdruckes liegen ebenfalls in der Wärme, in dem Wassergehalte der Luft und in ihrer Bewegung. Letztere kann auf zweifache Weise wirken, nämlich unmittelbar, indem bewegte Luft einen kleineren Druck ausübt, als ruhende, und mittelbar, indem dadurch der Wärmezustand und der Dunstgehalt der Luft geändert, und an einer Stelle mehr Luft angehäuft wird, als das Gleichgewicht fordert. Die Wirkung der zwei ersteren Ursachen ist aus dem Vorhergehenden klar. Durch den Zug hoher Gebirge, durch nahe große Gewässer werden die Erfolge der Thätigkeit aller dieser Ursachen oft stark modificirt. Daß Erdbeben, vulcanische Ausbrüche und überhaupt electrische Phänomene das Barometer afficiren können, läßt sich nicht wohl läugnen: allein man kann ihre Wirkungen, die übrigens nicht so häufig eintreten, als als die oben genannten, noch nicht unter bestimmte Gesetze bringen. Hieraus wird begreiflich, warum der Barometerstand, bei übrigens

gleichen Umständen, so eng mit der herrschenden Witterung, vorzüglich aber mit den Winden, zusammenhängt. Man kann es als allgemeine Regel ansehen, daß jedem Winde ein bestimmter Luftdruck entspreche. Das Maximum des Druckes findet bei NO., das Minimum zwischen S. und SW. Statt. In der Regel steigt in dem größten Theile von Europa das Barometer bei westlichen (W. NW. und N.) und sinkt bei östlichen (O. SO. und S.) Winden. Bei NO. geht es vom Steigen ins Fallen, bei SW. vom Fallen ins Steigen über. Veränderlichkeit der Winde beurkundet sich durch schnelle Schwankungen des Barometers, Stürme verursachen ein ungewöhnliches Steigen, noch öfter aber ein ungewöhnliches Sinken des Barometers. Dieses tritt immer an einem Orte am stärksten ein, den man daher als das Centrum des kleinsten Druckes ansehen kann, und von wo aus der Druck nach allen Seiten zunimmt. Dieses Centrum wechselt oft seinen Platz sehr schnell. Auch den Gewittern pflegen merkliche, schnell auf einander folgende Schwankungen vorauszugehen. Ein großer Luftdruck ist nicht Ursache einer trockenen, ein geringer nicht Ursache einer feuchten Witterung, sondern beide, sowohl der Luftdruck als der Charakter der Witterung, sind durch Luftströme bedingt.

Den Einfluß der Richtung der Winde auf den Luftdruck ersieht man am besten aus folgender Tabelle, welche den mittleren Barometerstand bei verschiedenen Winden an den nebenbei angezeigten Orten angibt. Die auf Wien bezüglichen Resultate sind aus dreijährigen Beobachtungen erhalten.

	N	NW	W	SW	S	SO	O	NO
Berlin	336.32	335.85	335.13	333.61	333.06	334.55	336.36	336.62
Paris	337.14	336.14	335.20	334.03	333.94	335.37	334.76	337.0
Wien	331.39	331.26	325.81	330.52	330.19	330.25	329.68	330.58

Schübler hat die Barometerstände in Paris, Stuttgart und Wien für 1826 mit einander verglichen, und vorbenanntes Gesetz bestätiget gefunden. Das Barometer befolgt an diesen drei Standpunkten einen ziemlich gleichförmigen Gang. Vom April bis Juli herrschten an allen drei Orten Westwinde, und da war der Druck der Luft in Paris meistens am größten und in Wien am kleinsten, während in den übrigen Monaten, wo meistens östliche Winde wehten, das Gegentheil Statt fand. Brandes hat den Barometerstand an mehreren Orten für einige Tage des Decembers 1821 und des Februars 1823, wo ungewöhnliche Stürme herrschten, mit einander verglichen, und den Mittelpunkt des geringsten Luftdruckes und dessen Bewegung nachgewiesen. Am 24. Dec. um 6 Uhr Abends befand sich das Centrum des geringsten Druckes an der Küste von Bretagne, und dehnte seine Wirkung, stufenweise abnehmend, ringsum aus, so daß die Linien von gleichem Drucke eine elliptische Gestalt hatten. Am 25. Dec. um 6 Uhr Ab. befand sich dieses Centrum zu Dieppe und London, und die Linien von gleichem Drucke waren mehr kreisförmig. Um 10 Uhr desselben Tages traf man das Centrum des geringsten Druckes in Deutschland, und um 6 Uhr Abends war es gegen die norwegischen Küsten vorgerückt. (Buch in Gilb. Ann. 67. 29 und 437. Schübler in Schweigg. J. 52. 257. Dove in Pogg. Ann. 11. 545. *Brandes de repentinis variationibus in pressione atmos. observatis. Lips.* 1826.)

213. Das arithmetische Mittel aus einer großen Anzahl von Barometerhöhen an demselben Orte gibt den mittleren Luftdruck

daselbst, und jenen Stand des Barometers, um welchen die Oscillationen desselben erfolgen. Je größer die Anzahl der dazu gebrauchten Barometerhöhen ist, desto zuverläßiger fällt das Resultat aus; es ist aber auch nicht gleichgültig, an welcher Tageszeit die Barometerhöhe beobachtet wird. Der Barometerstand zu Mittag soll vom täglichen Mittel nur wenig abweichen, eben so das Mittel aus dem um 9 U. Ab. und um 10 Uhr früh gefundenen. Am besten würde man fahren, wenn man des Tags viermal, und zwar zur Zeit der Maxima und Minima beobachten wollte. Auch die Windesrichtung zur Zeit der Beobachtung ist nicht gleichgültig. Im mittleren Europa entspricht der mittlere Druck der Windesrichtung von S. 11° W.

214. Wäre die Atmosphäre vollkommen ruhig, ihre Temperatur und ihr Wassergehalt allenthalben dieselbe, so könnte man aus theoretischen Gründen den mittleren Luftdruck an jedem Orte aus dem an einer bestimmten Stelle bekannten Drucke durch Rechnung finden; allein die in der Luft stets vorhandenen Strömungen, so wie die Ungleichheiten der Temperatur machen diese Berechnungen aus theoretischen Gründen unmöglich, und man bleibt demnach hierin ganz der Erfahrung überlassen. Diese lehrt, daß der mittlere Luftdruck an der Meeresfläche von der geographischen Breite abhänge. Aus Schouws werthvollen Untersuchungen (Pogg. Ann. 26. 395) ergeben sich, in Bezug auf den mittleren Barometerstand an der Meeresfläche in der nördlichen Halbkugel, folgende Gesetze: Vom Aequator bis zu einer Breite von 15° hat der mittlere Luftdruck eine Größe von 337—338''' Par. M., in der Zone 15°—30° ist das Mittel des Luftdruckes höher, nämlich 338—339''', in der Zone von 30°—45° gleich 337.5'''—339, zwischen der Breite von 45° und dem Polarkreise nimmt der mittlere Luftdruck bedeutend ab, und beträgt nur 337.'''5 — 333''', innerhalb des Polarkreises scheint der mittlere Luftdruck wieder zu steigen. Die Ursache dieser Verschiedenheit des mittleren Luftdruckes liegt in dem meteorischen Charakter der betreffenden Zonen. In der ersten Zone ist die Temperatur sehr hoch, und es treten häufige Wolkenbildungen und Wasserniederschläge ein, in der zweiten regnet es fast nie, der Himmel ist fast immer heiter und der Wind weht ununterbrochen, in der dritten herrschen im Winter trockene Winde, im Sommer Wolken und Wasserniederschläge, die der warme SW. Passat erzeugt, in der vierten Zone kämpfen ununterbrochen der zurückkehrende, obere Passat mit den entgegengesetzten kalten Winden, woraus häufige Wolkenbildungen und Wasserniederschläge erfolgen. Daß sich dieser Passat nicht bis in die fünfte Zone erstreckt, scheint der Grund des daselbst höher werdenden Barometerstandes zu seyn. Nach Erman ändert sich der mittlere Luftdruck auch mit der geographischen Länge. Dieser Gelehrte fand in den azorischen Meridianen ein Maximum, in den kamtschatkischen ein Minimum des Luftdruckes, mithin eine Zunahme desselben von Kamtschatka gegen den Meridian der Azoren. (Erman in Pogg. Ann. 13. 121.)

Sechstes Kapitel.

Wassermeteore.

215. Da die Atmosphäre beständig mit Wasser oder feuchter Erde in Berührung steht, so müssen auch ununterbrochen Dünste entstehen. Die Menge der in einer gewissen Zeit an einem bestimmten Orte aus Wasser entwickelten Dünste bestimmt man mittelst eigener Instrumente, die man Atmometer nennt, und die in der Hauptsache aus Gefäßen voll Wasser bestehen, an denen man die Menge des durch Verdünsten verschwundenen Antheils durch das Gewicht oder mittelst einer Scale bestimmt, die man aber, um richtige Resultate zu erhalten, so tief in ein großes Wasser senken soll, als das Wasser in ihnen steht. Man hat die Größe der Verdünstung auf diese Weise an mehreren Orten untersucht, und gefunden, daß sie vom Aequator gegen die Pole hin abnehme, daß sie in demselben Orte der nördlichen Halbkugel vom December bis Juni zunehme, von da an aber bis December wieder kleiner werde. Folgende Tabelle gibt die Größe der jährlichen Verdünstung für die darüberstehenden Breitengrade in W. Zollen an, wie sie theils durch Versuche, theils nach einer den Versuchen entsprechenden Hypothese ausgemittelt worden ist.

Breite	90°	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Verdünstung	22.4	13.1	15.3	19.4	25.7	34.4	44.9	55.5	63.6	66.6

216. Die entstandenen Dünste suchen sich nach allen Seiten zu verbreiten, und bilden eine Dunstatmosphäre um die Erde. Diese würde sich nach den allgemeinen Gesetzen ausdehnsamer Körper ins Gleichgewicht setzen, wenn ihnen nicht unzählige Hindernisse im Wege stünden. Wissenswerth ist in Bezug auf diese Dunstatmosphäre der Gehalt an denselben, oder die Spannkraft der Dünste und der Feuchtigkeitsgrad (I. 217). Ueber großen Meeren hat die Dunstatmosphäre nach Kämtz eine Spannkraft, welche dem Maximum der Dünste vom Meerwasser entspricht. Von da aus verbreiten sich die Dünste ins Innere der Continente mit abnehmender Spannkraft. Nach aufwärts nimmt der Druck der Dunstatmosphäre ab. Der Feuchtigkeitsgrad ist im Allgemeinen über dem Meere in allen Breiten nahe gleich, und der Thaupunkt liegt um 3.°5C. unter der bestehenden Lufttemperatur. Nach oben nimmt die Feuchtigkeit bei heiterem Wetter ab, bei Nebeln zu, und in der Wolkenregion herrscht das Maximum der Feuchtigkeit (100°). Die Aenderungen der Dunstmenge und der Feuchtigkeit während eines Tages geben Beobachtungen in verschiedenen Orten verschieden an. Nach den zu Apenrade angestellten, welche wohl ihrer großen Anzahl wegen den größten Werth haben dürften, wächst der Druck der Dunstatmosphäre von der kältesten Tagesstunde an bis zur wärmsten, und das Maximum desselben fällt mit jenem der Wärme fast genau zusammen; nach Daniell's, zu London, angestellten Beobachtungen ist dieser Druck in den Frühlingsmonaten des Morgens größer als Nachmittags, die Feuchtigkeit ist aber bei der kleinsten Tageswärme am größten, bei der größten Temperatur am kleinsten. Eben so ist in

der kältesten Jahreszeit der Dunstdruck am kleinsten, in der wärmsten Jahreszeit am größten, aber die größte Trockenheit herrscht in der Regel im Mai, die größte Feuchtigkeit im December. Winde haben auf den Dunstgehalt der Atmosphäre einen gar großen Einfluß, und es scheint sowohl die Dunstmenge als die Feuchtigkeit bei östlichen und nördlichen Winden am kleinsten, bei südlichen am größten zu seyn, so daß diese beiden hygrometrischen Größen bei einer Drehung des Windes von Nord nach Süd sowohl auf der Ostseite der Windrose als auf der Westseite derselben zunehmen. Die Größe der Veränderungen der hygrometrischen Verhältnisse ist sehr verschieden. Die täglichen Veränderungen sind im Winter am kleinsten, und scheinen im Frühlinge am größten zu seyn und nach oben abzunehmen. (Dove in Pogg. Ann. 16. 285, 293; 22. 219. Kämtz ebend. 30. 43.)

Das im tropischen Himmelsstriche in der Luft enthaltene Wasser würde die Erde 9 Z. hoch bedecken, und der Dunstdruck soll einem Drucke von 10″ entsprechen; in einer Höhe von 4200 F. enthält ein Volum Luft nur mehr halb so viel Dunst als an der Meeresfläche. Der Feuchtigkeitsgrad über dem Meere beträgt in allen Breiten nahe 81°, und der mittlere Dunstdruck ist 7.‴159. Der Dunstdruck ist zu London = 3.‴69, zu Stuttgart 2.‴818; der mittlere Feuchtigkeitsgrad ist in ersterem Orte 87.°1, in Paris 59.7. In der asiatischen Steppe Platowskaja fand A. v. Humboldt nach anhaltendem SO. Winde um 1 Uhr N. M. bei einer Lufttemperatur von 23°.7 C. den Thaupunkt = —4°.3 C., mithin nur eine Feuchtigkeit von 17 p. C. Die gesammte in der Luft enthaltene Wassermenge wird zu 3 Trillionen K. Z. angeschlagen. (*Edinb. Encyclop. Art. Hygromet.*)

217. Wenn die in der Luft enthaltenen Dünste einmal das Maximum ihrer Dichte erreicht haben, so werden sie durch die kleinste Temperaturverminderung in tropfbaren Zustand versetzt. Diese Temperaturverminderung kann von dem durch Ausstrahlen erkalteten Erdboden, durch das Aufsteigen in kältere Luftschichten oder durch kältere Luftströme rc. hervorgebracht werden.

218. Sobald die Dünste das Maximum ihrer Dichte überschritten haben, bilden sie kleine Tröpfchen, welche die Luft verdunkeln und trübe machen, weil die auffallenden Lichtstrahlen so häufig eine theilweise Reflexion erfahren. Sie bleiben in der Luft schweben, bis sie eine gewisse Größe erreicht haben, oder in die Nähe hygroskopischer Körper kommen. Sie erhalten sich in der Luft, ungeachtet ihre Dichte jene der Luft vielmal übertrifft, 1) weil sie wegen ihrer feinen Vertheilung eine im Verhältniß zu ihrer Masse zu große Oberfläche haben, und daher nur äußerst langsam sinken können; 2) weil immer wärmere Luftströme aufwärts gehen, und so dem Fallen der Wassertheile entgegenwirken; 3) weil sie durch die vielen Reflexionen, welche ein Lichtstrahl erleidet, der die mit so vielen Kügelchen geschwängerte Luft trifft, der Luft die Durchsichtigkeit benehmen, und eben deßhalb bewirken, daß die Luftschichte, welche sie enthält, mehr von der Sonne erwärmt wird, als die reine durchsichtige Luft, und daher auch ein geringeres specifisches Gewicht erlangt, in die Höhe zu steigen sucht, und die

Dunstkügelchen zu fallen hindert. Vergrößern sich die Wasserkügelchen, so fallen sie doch herab, und erzeugen die bekannten, wässerigen Lufterscheinungen, Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee und Hagel.

219. Der Thau erscheint als ein wässeriger Beschlag an der Oberfläche der Körper im Freien. Ueber sein Entstehen verdanken wir Wells die meiste Aufklärung. Seinen Erfahrungen gemäß zeigt sich der Thau nach einem heitern Tage zwar schon Abends im beschatteten Grase, aber erst nach Sonnenuntergang entsteht er reichlich und vermehrt sich die ganze Nacht hindurch. Die Menge des gefallenen Thaues beträgt in heiteren, windstillen Nächten am meisten, eine geringe Bewölkung mindert ihn, ein dicker Ueberzug des Himmels verhindert sein Entstehen ganz. Er fällt reichlicher nach heißen Tagen und bei feuchter Luft, als wenn die Wärme und Feuchtigkeit derselben gering war, und überhaupt nach Mitternacht mehr als vor Mitternacht. Er überzieht bei übrigens gleichen Umständen jene Körper, die dem freien Himmel ausgesetzt sind, mehr als zugedeckte, in der Luft hängende mehr als auf dem Boden liegende, und Körper mit rauhen Oberflächen in größerer Menge als solche, deren Oberfläche glatt ist. Ueber den letzteren Punkt hat vorzüglich Harvey viele interessante Beobachtungen angestellt. Zu diesen Erfahrungen fügte Wells noch die wichtige Entdeckung, daß jene Körper, die bethaut werden, immer eine geringere Temperatur haben, als die sie umgebende Luft, und daß mit diesem Unterschiede der Temperatur die Menge der Bethauung zunehme. Dieses läßt keinen Zweifel übrig, daß das Entstehen des Thaues auf folgendem Hergange der Sache beruhe: Das Ausstrahlen der Wärme bewirkt an den Körpern, welche dem freien, heiteren Himmel ausgesetzt sind, eine Verminderung der Temperatur, diese entziehen der angrenzenden Luftschichte die Wärme, und machen, daß ihre Dünste das Maximum der Expansivkraft überschreiten, in tropfbaren Zustand übergehen, und sich so an die nahen Körper absetzen. Man kann die Menge des in einer gegebenen Zeit als Thau abgesetzten Wassers bestimmen, wenn man ein metallenes Gefäß mit blankem Boden dem freien Himmel aussetzt, und es vor und nach dem Bethauen abwiegt. Flaugergues fand so, daß das im Jahre 1823 abgesetzte Thauwasser zu Viviers den Boden auf drei Linien bedecken würde, wenn es sich ansammeln könnte. (*Bibl. univ. avril. An assay on Dew and several appearances conneeted with it. by W. Wells. London* 1815.) Wenn die Temperatur der Luft während der Nacht unter den Gefrierpunkt sinkt; so friert der Thau, und erscheint als Reif an Körpern. Man sieht leicht ein, daß ein Reif entstehen kann, selbst wenn die Temperatur der Luft ober dem Gefrierpunkte steht. Mehlthau, Honigthau sind normalwidrige, von Pflanzen austretende Säfte und kein atmosphärischer Niederschlag.

Aus dem Vorhergehenden erklärt man sich leicht: Warum der Thau und Reif im Frühling und Herbst so reichlich fällt; warum es in der Nähe großer Wässer und überhaupt in wasserreichen Gegenden so stark thaut;

warum Niederungen so oft vom Reife heimgesucht werden, während höhere Gegenden, wohin sich die warmen und daher leichteren Luftschichten erheben, nur bethaut werden; warum man Gewächse durch eine geringe Decke, z. B. durch Reisig, Rauch vor Reif schützen kann; warum der Thau bei Aufgang der Sonne wieder verschwindet ꝛc.

220. Wasser, das klein zertheilt in der Luft schwimmt und sie trübt, bildet Nebel und Wolken. Beide unterscheiden sich von einander nur durch ihre Höhe: Eine Wolke ist ein hochschwebender Nebel, oder der Nebel ist eine auf der Erde aufliegende Wolke; man kann daher beide mit dem allgemeinen Namen einer Wolke belegen. Davon überzeugt man sich, wenn man einen Berg besteigt, der in Wolken gehüllt erscheint; denn da trifft man in der Wolkenregion Nebel an. Die Wolken schweben keineswegs ruhig in der Luft, sondern nehmen an den Bewegungen derselben Theil, schreiten nach verschiedenen Weltgegenden fort, heben und senken sich. Daß die eigentlichen Wolken bald höher bald tiefer schweben, erkennt man daraus, daß sie die Gipfel der Berge bald umhüllen, bald sie dem Auge frei geben. Man meint, nur die feinsten Wölkchen haben eine Höhe von einer Meile und darüber, die Regen- und Gewitterwolken ziehen meistens sehr tief, weil sie dichter und daher schwerer sind als die übrigen, heben sich aber wieder, wenn sie einen Theil ihres Wassers durch Regen, Schnee ꝛc. verloren haben. Im Sommer schweben die Wolken höher als im Winter, und in der heißen Zone höher als bei uns. In der kalten reichen sie fast immer bis zum Boden herab und bilden jene Nebel, die den Schifffahrern so lästig sind. Das Treiben der Wolken geschieht mit großer Geschwindigkeit, und nach einer Richtung, welche oft der des Windes in den unteren Regionen ganz entgegengesetzt ist. Die Farbe der Wolken steht mit ihrer Dichte in Verbindung. Sehr dichte Wolken absorbiren das Licht völlig und erscheinen daher dunkel, dünnere lassen es zum Theile durch und reflectiren es zum Theile, sind daher mehr oder weniger weiß. Die der Sonne näheren und daher intensiver beleuchteten Wolken gewähren nicht selten ein herrliches Farbenspiel. Die Ausdehnung der Wolken nach Länge und Breite einzelner Wolken ist sehr verschieden, jedoch erscheinen uns unter allen die Gewitterwolken am ausgedehntesten. Wenn auch manchmal der ganze Himmel bewölkt erscheint, so ist dieses die Folge mehrerer sehr nahe stehender Wolken, deren es gewöhnlich sogar mehrere Schichten über einander gibt. Uebrigens hängt die scheinbare Ausdehnung einer Wolke, wie die eines jeden anderen sichtbaren Gegenstandes, von ihrer Entfernung und von der Lage des Auges gegen ihren Ort ab. Die höchsten Wolken erscheinen immer wie Fasern und Streifchen, sind aber wahrscheinlich nicht minder ausgedehnt, als die uns so nahen Regenwolken; die gegen uns schief stehenden Wolken erscheinen lang und schmal, wiewohl ihre Ausdehnung nach allen Richtungen gleichmäßig seyn kann, weil sie nach ihrer Breite gesehen verjüngt erscheinen. Die Dicke der Wolken läßt sich nur bei jenen bestimmen, die um Berge Gürtel bilden. Peytier und Hassard fanden so

eine Wolke 450—850 Meter dick. Das Anhäufen der Wolken am Horizont zu einer Zeit, wo sich um das Zenith herum nur wenige Wölkchen zeigen, beruht auf einer optischen Täuschung. Manchmal vergrößert sich eine Wolke sehr schnell, nicht selten vermindert sich eine eben so eilig. Daran mag vielleicht die Electricität einen Antheil haben; indeß sieht man auch wohl ein, daß sich auch in dem Falle eine Wolke vergrößern müsse, wenn sie durch den Wind in feuchte Luftschichten von geringerer Temperatur getrieben wird. Die Vergrößerung der Wolken ist nicht selten mit einem Steigen der Temperatur verbunden, weil Wolken der Erde die ausstrahlende Wärme zurücksenden. Das Verschwinden oder Abnehmen einer Wolke wird daraus begreiflich, daß sie durch den Wind über Gegenden geführt wird, von denen warme oder trockene Luft hoch aufsteigt, oder daß diese ihr selbst vom Winde zugeführt wird. Hieraus sieht man auch ein, wie Winde die Wolken zerstreuen können.

221. Ueber die Gestalt der Wolken verdanken wir dem Engländer Howard die meiste Aufklärung. Er fand, daß alle Wolken unter drei Hauptformen und vier abgeleiteten Formen erscheinen. Die Hauptformen sind: Die Federwolke (cirrus), die Haufenwolke (cumulus) und die Schichtwolke (stratus). Die abgeleiteten sind: Die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), die federige Schichtwolke (cirro-stratus), die geschichtete Haufenwolke (cumulo-stratus) und die gehäufte federige Schichtwolke oder Regenwolke (nimbus).

222. Die Federwolke (Fig. 383) besteht aus zarten, parallel laufenden oder verwirrten, manchmal baum- oder lockenartig verzweigten Fasern. Sie ist nach anhaltend schönem Wetter die erste, welche das Blau des Himmels bleicht, zeigt sich bei trockener Witterung mehr faserig, bei feuchter und bevorstehendem Regen mehr verwaschen, sie hat meistens eine Höhe von mehr als einer halben Meile, und dürfte wohl nur aus Schneetheilen bestehen. Die Federwolke geht häufig durch Verdichtung in die federige Schicht- oder Haufenwolke über. Die federige Haufenwolke (Fig. 384) besteht aus kleinen, weißen, meist runden, in Reihen geordneten Wölkchen, die man Schäfchen zu nennen pflegt. Sie erscheinen vorzüglich groß und gut begrenzt am Abende warmer Sommertage, und können nach anhaltend nasser Witterung für Vorboten einer besseren Zeit angesehen werden. — Die federige Schichtwolke (Fig. 385) charakterisirt sich durch Mangel an Dichte, durch ihre große Ausbreitung im Verhältniß gegen die Menge ihrer Substanz und durch die Veränderlichkeit ihrer Gestalt. Sie erscheint in der Höhe als eine große Menge zarter Wölkchen, hat aber, wenn sie am Horizont steht, wo man ihren verticalen Durchschnitt sieht, das Ansehen weit ausgedehnter Schichten. Oft überzieht sie den ganzen Himmel oder einen bedeutenden Theil desselben wie mit einem weißen Schleier. Diese Wolkenart ist es auch, welche, wenn sie am westlichen Himmel bei Sonnenuntergang steht, und dünn genug ist, das herrliche Farbenspiel der Abendröthe gibt,

wenn sie aber dichter ist, einen trüben Sonnenuntergang verursacht, und einem anhaltenden, aber sanften Landregen vorhergeht. Die **Schichtwolke** (Fig. 386) ist eigentlich das, was man Nebel nennt, nämlich eine wie Wasser ausgedehnte, die Erde berührende Wolke. Sie entsteht häufig an Tagen, deren Temperatur gegen die der Nacht stark absticht. Nach Sonnenuntergang lagert sie sich besonders häufig über tiefe Gewässer, verschwindet manchmal gänzlich, indem sie wie ein feiner Thau herabfällt, steigt nicht selten in die Höhe und geht in eine Haufenwolke über. Ueber den Polarmeeren verweilen den ganzen Sommer hindurch dichte Nebel, die in eine Höhe von 150 — 200 Fuß reichen. Im Jahre 1783 überzog ein solcher Nebel, den man **Höhenrauch** nennt, fast das ganze Jahr hindurch die meisten Gegenden Europa's, und stand wahrscheinlich mit den in diesem Jahre so häufigen unterirdischen Revolutionen in Verbindung. Die Entstehung der Schichtwolke läßt sich nach **Davy's** Ansicht auf folgende Weise erklären: Sobald in einer Gegend die Sonne untergegangen ist, wird der Erde für die ausstrahlende Wärme, besonders wenn die Luft ruhig und der Himmel heiter ist, kein Ersatz zu Theil, es nimmt daher ihre Temperatur ab. Am festen Lande beschränkt sich diese Abkühlung immer auf die Oberfläche oder erstreckt sich doch nur in sehr geringe Tiefe, im Wasser hingegen, dessen Temperatur über 3° R. ist, sinken die abgekühlten Theile der Oberfläche zu Boden, wärmere treten an ihre Stelle und werden auf gleiche Weise wieder abgekühlt, nur unter 3° R. ist die oberste zugleich die kälteste Schichte, es erstreckt sich daher die Abkühlung auf die ganze Wassermasse. Ist nun diese hinreichend groß, und hat sie während des Tages eine Temperatur, welche der Temperatur der Luft gleich oder nur wenig geringer, jedoch über 3° R. ist; so muß in einer heiteren und ruhigen Nacht ihre Temperatur an der Oberfläche größer seyn, als die des angrenzenden festen Landes, und eben daher muß auch die Luft über dem Wasser wärmer seyn als über dem Lande und mehr Dünste enthalten, zugleich muß aber auch die Landluft beständig gegen das Wasser hinströmen, die daselbst befindliche Luft abkühlen, und so den Nebel erzeugen. Die Menge desselben muß sich nach der Tiefe und nach der Temperatur des Wassers richten. Diese Erklärung hat man durch Beobachtungen an vielen Flüssen Deutschlands und Italiens bestätigt gefunden. Auch der Umstand ist dieser Erklärung günstig, daß nach **Harvey's** Erfahrungen (*Journ. of sc. Nr.* 29) die Temperatur einer Nebelschichte in der Mitte geringer ist, als oben und unten. Da das feste Land in der Regel häufig mit größeren oder kleineren Wasserbehältern oder feuchten Stellen wechselt, so ist wohl begreiflich, wie sich oft ein Nebel weit über eine Gegend verbreiten kann. Er kann aber auch sein Entstehen der unmittelbaren Erkältung der Luft verdanken. Die **Haufenwolke** (Fig. 387) zeichnet sich durch ihre halbkugelförmige Gestalt mit genau horizontaler Grundfläche aus. Sie entsteht, wie die Federwolke, bei ganz heiterem Himmel als ein kleines unregelmäßiges Wölkchen, das allmälig zu einer bedeutenden Größe anwächst, die

kleineren, herum befindlichen gleichsam aufnimmt und sich so zu einem Wolkenberge vergrößert. Sehr merkwürdig ist es, daß diese Wolken häufig an heiteren Tagen Morgens entstehen, bis zur größten Tageshitze wachsen, am Abende wieder verschwinden und ein reines Firmament zurücklassen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt wahrscheinlich in der mit der Wärme zunehmenden Menge der Dünste, die mit der erwärmten Luft aufsteigen, in kältere Regionen kommen, und dort zu Wolken werden. Diese senken sich wieder, sobald das Aufsteigen der wärmeren Luftströme ein Ende erreicht hat, kommen dabei in wärmere Regionen, und gehen wieder in Dunst über. Mit dieser Ansicht steht die Erfahrung in gutem Einklange, daß die mittlere Wärmeabnahme der Luft nach oben schneller erfolgt als die Abnahme des Thaupunktes, indem die Lufttemperatur schon in einer Höhe von 400 — 500 F., der Thaupunkt aber erst in einer Höhe von 700 F. um 1° C. abnimmt. Nicht selten verliert die Haufenwolke ihre halbkugelförmige Gestalt, nimmt nach oben unregelmäßig zu, wird dichter, hängt in Flocken über ihre Grundfläche herunter, und bildet so die geschichtete Haufenwolke (Fig. 388). Wenn sich bei dem periodischen Entstehen und Verschwinden der Haufenwolke eine große Neigung derselben zeigt, in die geschichtete Haufenwolke überzugehen, hat man immer Regen zu befürchten.

223. Der Uebergang der jetzt beschriebenen Wolkenarten in die regnende Wolke ist mit merkwürdigen Erscheinungen begleitet: Die in niederen Luftschichten hinschwebende Haufenwolke hält in ihrem Fortgange inne, vergrößert sich durch Aufnahme der über ihr befindlichen Federwolken, und verwandelt sich so in eine geschichtete Haufenwolke, die oben in lockige Fasern sich endiget, immer dunkler wird, und endlich Regen herabschüttet.

224. Der Regen ist eine Folge der Vergrößerung der einzelnen Wassertropfen, welche die Wolken bilden, und kann durch mannigfaltige Umstände herbeigeführt werden, wie z. B. dadurch, daß die Temperatur der Wolke fortwährend vermindert und so immer fort Dunst zersetzt wird, denn dadurch kommen sich die einzelnen Wassertröpfchen näher, und fließen in größere zusammen; ferner durch einen Wind, der eine Wolke an ein mechanisches Hinderniß antreibt. Dadurch entstehen jene furchtbaren Regengüsse, die den Gebirgsländern so gefährlich sind, und Wolkenbrüche heißen. Dieser Wirkung der Winde ist keineswegs die allgemein bekannte Erfahrung entgegen, daß ein starker Wind in den unteren Regionen den Regen hindere; denn es ist hier immer vom oberen Winde die Rede, an dem es selten fehlt; der untere hingegen zerstreut die kleinen, herabfallenden Tropfen, und bewirkt, daß sie wieder verdünsten, bevor sie die Erde treffen. Daher kommt auch das Fallen einzelner Tropfen bei windigem Wetter. Uebrigens können wenige Wassertröpfchen, die sich nicht mehr in der Luft erhalten können, einen gewaltigen Regen herbeiführen, weil sie beim Sinken auf andere treffen und sich mit ihnen zu einer größeren Masse vereinigen.

225. Die Regentropfen sind in den oberen Regionen sehr klein, vergrößern sich aber allmälig im Herabfallen durch Wasser, welches sie durch ihre Erkältung aus der Luft ausscheiden. Darum sind auch die Regentropfen bei uns viel geringer im Durchmesser als in der heißen Zone, wo die Wolken wegen der größeren Luftwärme viel höher stehen. Oft sollen sie unter dem Aequator einen Zoll im Durchmesser haben, während sie bei uns selten mehr als einige Linien dick sind. Wegen des Widerstandes der Luft erlangen sie keine große Geschwindigkeit.

226. Die Regenmenge ist nach Zeit und Ort verschieden. In der Regel beträgt die in einem Jahre gefallene Regenmenge desto mehr, je höher die mittlere Jahrestemperatur, mithin je größer das Maß der Ausdünstung ist; sie ist daher am Aequator größer als bei uns, und nimmt mit wachsender geographischer Breite ab. Höher gelegene Orte sollen reichlichere Regen haben, als tiefere (Kast. Arch. 6. 225), aber in derselben Verticalen ist die Regenmenge oben geringer als unten, wahrscheinlich, weil sich die kalten Regentropfen beim Fallen durch neuen Wasserniederschlag vergrößern. Uebrigens haben auf die jährliche Regenmenge auch der Zug der Gebirge, die Winde, welche Luftschichten von verschiedener Temperatur mit einander mengen, und andere Localitäten großen Einfluß. Offenbar muß es an jenem Abhange der Gebirge, den die Regenwolken zuerst erreichen, auch mehr regnen als an dem, worüber die Regenwolken erst schweben, wenn sie schon einen Theil ihres Wassergehaltes abgegeben haben. Da Regenwolken meistens aus Süd oder West kommen, so ist es begreiflich, daß im südlichen Deutschland und in Ungarn (diesseits der Alpen) verhältnißmäßig weniger Regen fällt, als in der Lombardie und überhaupt jenseits der Alpen. Selbst die Vertheilung des jährlichen Regens auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten ist an verschiedenen Orten verschieden. In der heißen Zone ist der ganze in einem Jahre fallende Regen auf die Regenzeit concentrirt, und tritt beim höchsten Sonnenstande ein, wo die starken aufsteigenden Luftströme den größten Zufluß von kälteren Gegenden nothwendig machen. In größeren Breitengraden der tropischen Zone, nämlich an den äußersten Grenzen der Passatwinde, erzeugen die herabsinkenden Aequatorialströme die Winterregen. Je mehr man sich von der tropischen Zone entfernt, desto mehr vertheilt sich der Regen in das ganze Jahr, aber selbst da treten deutlich zwei Regenzeiten hervor, und rücken immer mehr aus einander, je mehr man die Grenzen der Tropen verläßt, bis dieselben in einer großen Breite wieder in ein Regenmaximum, das in den Sommer fällt, zusammenfallen. Man mißt die Regenmenge mittelst eines regelmäßigen, zum Auffangen und Messen des Regenwassers bestimmten Gefäßes (Regenmesser, Ombrometer), worunter das von Horner angegebene besonders sinnreich ist. (Schweigg. J. 52. 26.)

Nach Anderson geben die Zahlen 73, 69, 59, 47, 35, 25, 19, 14, 12, 11, 5 die Regenmenge unter dem Aequator (Breite 0°) und in den Breiten von 10°, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90° an; sie drücken nämlich aus, wie viel Zoll hoch das in einem Jahre fallende Regenwasser die Erde decken würde, wenn es sich ansammelte. An der Küste von Ma-

labar (11½° n. Br.) fallen jährlich 116 Z., in Havana 85″.4, in Bombay 73″.5, in Macao 63″. Im südlichen Theile der großen Ebene Norditaliens, am Fuße der Apenninen, beträgt die jährliche Regenmenge nirgends über 32 P. Z.; am südlichen Abhange der Apenninen hingegen beläuft sie sich auf 42—43 Z. Am südlichen Abhange der Alpen, in der Ebene der Lombardie und des venetianischen Königreiches fallen jährlich 54—55 Z., hie und da gar 80—90 Z. Wasser, in der Mitte der Ebene aber nur 36—37 Z. Der Sommerregen beträgt zu Bologna ½, zu Pisa ¼, zu Rom ⅛ vom Herbstregen, und zu Bologna und Pisa ½, zu Rom nahe ⅓, zu Palermo ⅛, zu Lissabon 1/13—1/14 des Winterregens. Im gemäßigten Klima fallen bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrade von 40° jährlich im Durchschnitte 20—30″ Regen. In Cayenne fielen im Februar 151″, in der Mission St. Antonio de Javita am Orinoco, wo es oft 5 Monate ununterbrochen regnet, in 5 St. 21‴, und ein anderes Mal gar in 3 St. 14‴, im Bombay während den 12 ersten Tagen der Regenzeit 32″. Genf hat zweimal so viel Regen als Paris, Petersburg so viel wie Wien. In York fand man, daß sich die Regenmengen an drei Stationen, deren eine 29 F., die andere 72, 8″, die dritte 231′ 10½″ über dem Spiegel des Sees lag, im Jahre 1832—1833 wie die Zahlen 661 : 853 : 1000, im Jahre 1833—1834 wie die Zahlen 582 : 772 : 1000 verhalten. In einzelnen Jahren wechselt die Regenmenge sehr stark. Die mittlere jährliche Regenmenge in Wien beträgt 16 P. Z. Im Jahre 1833 fielen aber nur 13.5 Z., im J. 1834 nur 10 Z., im J. 1835 aber 17.3 Z., im J. 1836 16 Z., im J. 1837 15.9 Z., im J. 1838 endlich 18.7 Z. Regen. Im südlichen Europa fällt das Maximum des Regens auf den Frühling und Herbst, in Deutschland auf den Sommer. Nach Kämtz ist an der Westküste Europa's die Regenmenge im Winter (December bis Februar) eben so groß, wie in den Sommermonaten; aber je weiter man ins Innere des Continents kommt, desto vorherrschender werden die Sommerregen. (Dove in Pogg. Ann. 35. 375.)

227. Das Regenwasser ist besonders in den Monaten März und April rein, weil da wegen der geringeren Luftwärme noch keine fremdartigen Substanzen mit den Dünsten in die Luft geführt werden; in warmen Sommermonaten hat es viele fremdartigen Substanzen beigemischt. Substanzen, wie z. B. Samenstaub, die durch Winde in die Luft geführt werden, fallen mit dem Regen wieder herab und erzeugen bei unwissenden Leuten die Meinung von Schwefel-, Blutregen u. s. w. Dieselbe Bewandtniß hat es mit dem Regnen der Thiere, z. B. der Frösche, die bei trockener Zeit im Straßenstaube vergraben liegen und nach einem Regen wieder erwachen, wohl auch vom Winde fortgeführt worden seyn können.

Zimmermann, der dem Meteorwasser eine große Aufmerksamkeit widmete, fand das specifische Gewicht desselben bei 14° R. gleich 1.00010—1.00130, und will deutliche Spuren von Kalk, Talk, Kali, Eisen, Mangan, Salzsäure, Kohlensäure und organischem Stoffe darin entdeckt haben. Nach Brandes enthielt das an einem Orte im Jahre 1825 aufgefangene Regenwasser 2.57 Gran festen Stoff. (Schweigg. J. 43. 153.)

228. Wiewohl die Regenwolken in der Regel niedriger schweben als andere, so befinden sie sich doch meistens in der Region des ewigen Schnees. Gehen daher die Dünste in tropfbaren Zustand über, so werden sie auch

bald zu Eis, thauen aber beim Herabfallen wieder auf, wenn die untere Luft eine hohe Temperatur hat, widrigenfalls fallen sie aber in Gestalt von Flocken herab, und geben den **Schnee**. Das Regenwasser ist daher meistens Schneewasser. Thauet der Schnee während des Falles nicht ganz auf, sondern sintert nur zusammen, wie dieses im Frühling und Herbst oft geschieht, so entsteht dadurch der Graupenregen. Man erklärt es sich hieraus, warum es in niederen Gegenden regnet, wenn es auf hohen Bergen schneiet, warum sich im Winter der Schnee bis an die Meeresfläche herab erstreckt, warum es in heißen Gegenden gar nicht schneiet.

229. Wenn der Schnee nicht sehr dicht fällt, erkennt man schon mit freiem Auge, daß er aus kleinen Sternchen besteht, die meistens sechseckig sind; fällt er aber dicht, so hängen sich mehrere solche Gestalten an einander, und bilden dann die großen Flocken, an denen man ein Gewebe aus feinen Nadeln erkennt. Fig. 389 zeigt mehrere Schneeflocken im vergrößerten Zustande. Der Vermischung der Schneeflocken mit Luft verdankt der Schnee seine starke Licht reflectirende Kraft und die blendend weiße Farbe; beigemischte, meistens vegetabilische Substanzen färben ihn aber nicht selten merklich roth; man fand ihn öfters auch schon leuchtend.

Folgende Tabelle gibt die Höhe an, zu welcher das Luftwasser jährlich steigen würde, wenn es nicht wieder verdünstete oder eingesaugt und zersetzt würde.

Ort			Ort		
Zu Abo	27,54	P. Zoll.	Zu Mannheim	20,6	P. Zoll.
» Algier	25,32	—	» Maranhao	26,0	—
» Augsburg	35,9	—	» Middelburg	31,8	—
» Bergen	73,0	—	» Padua	37,5	—
» Berlin	19,3	—	» Paris	20,0	—
» Bombay	72—106	—	» Pisa	34,5	—
» Delft	26,1	—	» Plymouth	29,1	—
» Domingo	11,3	—	» Rom	29,3	—
» Dordrecht	38,6	—	» Straßburg	25,9	—
» Edinburgh	21,6	—	» St. Petersburg	16,0	—
» Freiburg	28,4	—	» Stuttgart	23,9	—
» Göttingen	34,7	—	» Tübingen	25,0	—
» Haag	26,6	—	» Ulm	25,5	—
» Harderwyk	26,1	—	» Upmünster	27,7	—
» Harlem	23,2	—	» Upsala	22,0	—
» Hohenheim	24,6	—	» Utrecht	23,18	—
» Karlsruhe	25,5	—	» Venedig	33,92	—
» Kendal	60,5	—	Wälder des Orinoco und Rio Negro	90—100	—
» Lancaster	38,5	—			
» Leiden	28,34	—			
» Lund	17,39	—	Zu Wien	16,0	—
» Lyon	37,0	—	» Wittenberg	16,0	—
» Madeira	29,1	—	» Zürch	32,0	—

Siehe **Hube** über die Ausdünstung und ihre Wirkungen in der Atmosphäre. Leipzig 1790. Untersuchungen über die Wolken und andere Erscheinungen in der Atmosphäre von T. **Forster**. Leipzig 1819. Beiträge zur Witterungskunde von **Brandes**. Leipzig 1820.

Siebentes Kapitel.

Electrometeore.

230. Sobald man die erstaunlichen Wirkungen der künstlich erregten Electricität erkannt hatte, mußte ihre Aehnlichkeit mit denen, welche der Blitz hervorbringt, auf die Vermuthung leiten, daß auch in der Atmosphäre freie Electricität walte, und daß die Erscheinungen eines Gewitters von electrischen Entladungen herrühren. Man fand bald Mittel, diese Vermuthung durch Beobachtungen zur Gewißheit zu erheben. Indem man nämlich einen papierenen, mit einem metallenen Stifte versehenen Drachen aufsteigen ließ, und ihn an einer seidenen Schnur hielt, die mit feinem Metalldraht umwunden war, bemerkte man am Ende der Schnur Zeichen von electrischer Anziehung und Abstoßung, wohl gar stechende Funken, wie aus einer Leidnerflasche. Heut zu Tage herrscht über das Daseyn der Electricität in der Atmosphäre gar kein Zweifel mehr. Man kann sich von ihrem Daseyn theils mittelst isolirter, an hohen Stangen angebrachter Drähte, theils mittelst eines Drachen, vorzüglich leicht aber mittelst einer etwa 1—2 Klafter langen Stange überzeugen, deren isolirtes, mit einem glühenden Schwamme versehenes Ende mit einem empfindlichen Electroscope oder mit einem Multiplicator, dessen ein Drahtende bis zur Erde reicht, in Verbindung steht.

231. Man findet bei jeder Witterung Spuren von atmosphärischer Electricität. Die allgemeinen Resultate, welche sich aus den Untersuchungen über die Luftelectricität ergeben haben, sind folgende: Bei heiterer Luft ist die Electricität stets positiv und im Allgemeinen im Winter stärker als im Sommer, bei ruhigem Wetter stärker als während eines Windes. Ihre Intensität wächst von unten nach oben, und ändert sich mit der Jahres- und Tageszeit. Sie erreicht täglich zweimal ihr Maximum und eben so oft ihr Minimum. Nach Schübler fängt sie mit Sonnenaufgang an zu wachsen, und erreicht einige Stunden darnach ihr erstes Maximum, von da an nimmt sie wieder ab, und erlangt 1—2 Stunden vor Sonnenuntergang ein Minimum; steigt aber wieder von da an schnell, und erreicht einige Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum. Von diesem Augenblicke an fällt sie die ganze Nacht hindurch, bis sie mit aufgehender Sonne abermals zu steigen beginnt. Im Sommer tritt das erste Maximum am frühesten, im Winter am spätesten ein, während das zweite Maximum in Sommertagen am spätesten, in Wintertagen am frühesten Statt hat. Bei ruhiger, heiterer Luft sind die Variationen der Electricität größer als bei trüber, und überhaupt im Mittel im Sommer fast doppelt so groß als im Winter. Dichte Wolken, Nebel und naßkalte Witterung stören überhaupt den regelmäßigen Gang der Electricität völlig. Das aus der Luft fallende Wasser ist fast immer, besonders im Sommer, electrisch, selbst die in der Nähe von Wasserfällen in der Luft schwebenden Wassertropfen sind stark positiv electrisch. Bei Nordwinden ist die Luftelectricität am häufigsten positiv, bei Südwinden

am häufigsten negativ electrisch; die östlichen Winde haben mehr die Eigenschaft der nördlichen, die westlichen mehr die der südlichen Winde; doch sind überhaupt negative Niederschläge häufiger als positive. Starke Platzregen und Gewitterregen liefern mehr Electricität als sanfte Landregen. Wolken sind fast immer negativ electrisch. Daher mag es kommen, daß die Luftelectricität oft so sehr wechselt. Volta beobachtete in einer Minute einen 14maligen Wechsel der Electricität. Hagel und Schnee sind fast immer electrisch, der Nebel verliert oft vor seinem Falle die Electricität. — Die Quelle der Luftelectricität mag wohl mannigfaltig seyn, allein seit Pouillet gezeigt hat, daß beim Ausscheiden der im Wasser aufgelösten Salze, während der Verdünstung des Wassers und bei der Vegetation Electricität frei werde, muß man wohl in diesem die Hauptquelle der atmosphärischen E suchen. Nach Pouillet liefert eine Flur von 25 Q. Klafter in einem Tage mehr positive Electricität, als man zum Laden der stärksten Batterie braucht.

232. Als eine Folge der Anhäufung der Electricität in der Luft ist das Leuchten der Spitzen an Thürmen, Masten der Schiffe u. s. w., welches man Eliasfeuer, St. Helena nennt, anzusehen, und eines der erhabensten Meteore, nämlich das Gewitter, dessen wesentliche Erscheinungen Donner und Blitz sind. Gewitter erfolgen in der Regel nur in windstillen Tagen und in der warmen Jahreszeit, und zwar aus folgenden Ursachen: 1) ist im Sommer die Verdünstung und die Menge aufsteigender Dünste, welche Electricität mit sich führen, am größten, und der Vegetationsprozeß geht am lebhaftesten vor sich. 2) Schweben die Wolken im Sommer höher, und theilen deßhalb der Erde ihre Electricität nicht so leicht mit. 3) Sind die Nächte, wo die Luft am meisten feucht ist, und der Erde Luftelectricität zuleitet, in dieser Zeit am kürzesten; und 4) bewirken die Sonnenstrahlen in den Wolken leichter eine Verdünstung und daher eine neue Anhäufung der Electricität. Der Juli ist der gewitterreichste Monat. Wintergewitter sind nichts Unerhörtes, aber doch eine Seltenheit. In der Regel wird ein Ort desto öfter von Gewittern heimgesucht, je höher seine mittlere Temperatur ist. An einigen Orten der heißen Zone findet in der heißen Jahreszeit regelmäßig alle Tage ein Gewitter Statt. Von einer Weltgegend kommen mehr Gewitter als von den übrigen. In Wien ist meistens die Südwestseite die Wetterseite.

Nach Gronau ergibt sich aus 20jährigen Beobachtungen zu Berlin die jedem Monate entsprechende mittlere Anzahl der Gewitter, wie folgt: Jänner 14, Februar 18, März 26, April 132, Mai 293, Juni 453, Juli 496, August 423, September 160, October 22, November 12, December 13.

233. Vor einem Gewitter häufen sich die Wolken an einer Region besonders stark an, und nehmen an Dichte so zu, daß sie stellenweise ein völlig schwarzes Aussehen bekommen, gewinnen eine meistens abgerundete Gestalt, zeigen starke Abstufungen der Beleuchtung, und schweben meistens tief; es hängen an ihnen nach unten zu flockige graue Nebel,

die Luft wird schwül, sehr electrisch, und die Luftelectricität geht schnell vom Positiven ins Negative über und umgekehrt; es erfolgt eine feierliche Stille, welche jeden Laut, der sie unterbricht, verstärkt, hierauf folgen heftige Stürme, die von der Gewitterwolke aus nach allen Richtungen blasen, in wirbelnder Bewegung Staub aufjagen und dem Zuge der Wetterwolke folgen. Bald erleuchten Blitze, vom Donner verfolgt, den Himmel, bei jedem Schlage sieht man bedeutende Bewegungen in den Wolken, und fast immer folgen ihnen Regengüsse, nicht selten auch Hagel. Nach dem Regen nimmt die Heftigkeit des Gewitters ab, weil er die Electricität ableitet; die Gewitterwolke wird fortgetrieben, und zwar manchmal mit einer Geschwindigkeit, die oft 8—24 Meilen in einer Stunde beträgt, aber nicht nach der Richtung, nach welcher der untere Wind weht, sondern oft sogar nach einer ganz entgegengesetzten Richtung; oft zertheilt sich die Wolke, und die Luft erhält eine erfrischende Kühle, wenn nicht wieder ein neues Gewitter im Anzuge ist. Oft endet das Gewitter mit einer gleichförmigen Vertheilung der Wolken über den ganzen Himmel.

234. Der Blitz ist ein electrischer Funke, der in einer zackigen Linie, wie der Funke aus dem Conductor großer Electrisirmaschinen, zwischen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erde Statt findet. Im letzteren Falle sagen wir, er schlage ein. Der Weg, den er nimmt, seine Farbe, seine Wirkungen auf irdische Gegenstände, z. B. die gewaltige Erschütterung, das Durchbohren und Zertrümmern schlechter Leiter, das Schmelzen und Oxydiren der Metalle, das Verglasen der Erden, das besonders in sandigen Gegenden Statt findet, und die sogenannten Blitzröhren (Gilb. Ann. 55, 121. Ribbentrop über Blitzröhren. Braunschweig 1830) erzeugt; das Entzünden brennbarer Substanzen, das Tödten der Thiere, sind genau so, wie sie sich von einem so verstärkten, electrischen Funken erwarten lassen, und wie man sie mittelst einer Electrisirmaschine in sehr verjüngtem Maßstabe hervorbringt. Man kann gegenwärtig, wo durch Wheatstone's Versuche (II. 325.) die Hypothese der Unitarier so gut als widerlegt ist, nicht mehr fragen, ob der Blitz von der Wolke zur Erde fahre oder umgekehrt; doch kann man immerhin sagen, der Blitz fahre von jenem Körper, welcher der ursprünglich electrische ist, in den, welcher durch Vertheilung electrisirt worden.

235. Der Donner ist der heftige Knall, welchen der electrische Funke erzeugt, wenn er die Luft durchbricht. Sein Rollen entsteht theils aus der Reflexion des Schalles durch Wolken, Berge u. s. w., theils aus der ungleichen Entfernung der Theile des Weges, den der Blitz nimmt, von uns. In der Regel ist der Donner, welcher den einschlagenden Blitz begleitet, mehr prasselnd, der, welcher von einer Wolke zur anderen fährt, mehr rollend; im letzteren Falle kann man auch, nach Bellani's Bemerkung, den aus der Wolke hervorbrechenden Blitz wohl vom matten Lichte unterscheiden, daß sich gleich darauf durch die ganze Wolke erstreckt. Blitze, die sehr weit entfernt und nur von schwachen Donnerschlägen begleitet sind, erscheinen ohne

Donner. Oft sind solche auch bloß reflectirte Blitze eines unter dem Horizonte befindlichen starken Gewitters.

236. Der Umstand, daß der Blitz sich nach denselben Gesetzen richtet, welche dem gemeinen electrischen Funken den Weg vorschreiben, brachte Franklin auf die Erfindung der Blitzableiter. Diese sind eiserne, starke (5/4 W. Z. im Durchschnitte), an einem Ende zugespitzte und zur Verhütung des Rostens vergoldete oder mit einer Platinspitze versehene Stangen, die auf einem Gebäude so errichtet werden, daß sie 3—4 Fuß über die höchsten Theile desselben hervorragen. Da sich die Wirksamkeit einer solchen Stange, nach Charles, auf einen Umkreis erstreckt, dessen Halbmesser der doppelten Höhe der Stange gleicht, so müssen größere Gebäude mit mehreren solchen Stangen versehen werden. Alle werden mit einander leitend verbunden und mittelst eiserner Stangen oder Kupferstreifen, oder nach Yelin, mittelst Messingdrähten in die Erde hinabgeleitet. Jede größere Metallmasse eines Gebäudes soll in leitender Verbindung mit dem Ableitungsapparate stehen, weil der herabfahrende Blitz in einer solchen einen secundären electrischen Strom (II. 390) erzeugt, der ohne Ableitung so schädlich werden kann, wie der Blitz selbst. Bei einer guten Einrichtung dieser Stangen wird ein Gebäude vor Blitzschlägen hinreichend gesichert seyn, jedoch kann ein Blitz vom Ableiter abspringen, wenn er so stark ist, daß ihn der Conductor nicht fassen kann, oder wenn er das Metall schmilzt, oder endlich, wenn er in die Nähe einer Metallmasse kommt, die durch Vertheilung electrisirt ist, und nicht mit der Ableitungsstange in Verbindung steht. Dasselbe kann auch erfolgen, wenn häufiger Regen das Gewitter begleitet, welcher als natürlicher und höherer Ableiter wirkt. Selbst im letzteren Falle wird nicht viel zu befürchten seyn, weil ein solcher Blitz in der Regel nicht zündet, indem ihn die Nässe des Daches selbst ableitet. Strohseile kann nur der als Ableiter empfehlen, dem die Gesetze der E fremd sind. Ueberhaupt darf man, um die Wirkungsweise eines Blitzableiters nicht von einer falschen Seite zu betrachten, nicht vergessen, daß ein Ableiter nur in so ferne wirkt, als er durch Vertheilung electrisch geworden ist, und die mit der Luftelectricität gleichnamige E in die Erde abgegeben hat. Darum ist eine genaue Verbindung des ganzen Apparates mit der Erde so wesentlich. Ja, wenn diese nicht Statt findet, und ein Gebäude durch eine darüber hin ziehende Gewitterwolke durch Vertheilung electrisirt ist; so werden sich beide Electricitäten desselben nach Abzug dieser Wolke mächtig zu vereinigen suchen, einen secundären Strom erzeugen, und auf die Körper, die dieser Vereinigung im Wege stehen, wie ein Blitzschlag wirken. Man nennt dieses Phänomen den Rückschlag. (Siehe: Raimarus Vorschriften zur Anlegung einer Blitzableitung an allerlei Gebäuden. Hamburg 1778. Ueber die Blitzableiter, ihre Vereinfachung und die Verminderung ihrer Kosten von Dr. Plieninger. Stuttgart 1835. Anweisung zur Errichtung der Blitzableiter in Frankreich. Pogg. Ann. 1. 403.)

Die Kenntniß der Gesetze der künstlich erzeugten Electricität gibt schon die Regeln an die Hand, durch die man sich am besten vor Blitzschlägen bewahret. Sie laufen im Allgemeinen darauf hinaus, daß man die Nähe guter Leiter möglichst meide. Deßhalb soll man sich im Freien unter keinen Baum flüchten, nicht der höchste Gegenstand der Umgebung zu seyn suchen, keine gar starke Bewegung machen, damit die Ausdünstung nicht zu sehr erhöht werde, nicht zu nahe an Häusern gehen, sondern lieber die Mitte einer Straße suchen, sich im Zimmer von Fenstergittern, Glockenzügen, ja sogar von den Mauern entfernen und lieber die Mitte eines Gemaches einnehmen, die Nähe rauchender Kamine meiden und möglichst dunstfreie Orte suchen u. s. w.

237. Gewitter sind auch häufig von **Hagel** begleitet. Dieser besteht aus Eiskörnern von verschiedener Größe (1 Linie bis 6 Zoll im Durchmesser), die von außen eine dichte, durchsichtige Eisrinde, im Innern einen undurchsichtigen Kern aus Schnee, oft gar aus einer heterogenen Masse haben. Er fällt in einigen Gegenden viel öfter als in anderen, kommt zu allen Tageszeiten, am Tage und bei Nacht, doch in letzterer seltener vor; man hat ihn bei allen Temperaturen über und unter 0° beobachtet, doch scheint er nur der gemäßigten Zone eigen zu seyn, indem ein Hagelfall in den Tropenländern, unter 350 T. Höhe, zu den größten Seltenheiten gehört, und auch in den Polargegenden nicht oft vorkommt. Er fällt in der Regel nur im Sommer. Die Wolken, welche ihn führen, sind tief, aufgedunsen, an den Rändern zerrissen, und haben an ihrer Oberfläche unregelmäßige Hervorragungen. Ihre Höhe über der Erde ist meistens nur 400 Fuß; doch hat man auch sehr hohe Hagelwolken beobachtet.

238. Ueber die Entstehung des Hagels haben sehr verdiente Gelehrte, wie z. B. **Volta**, **v. Buch**, **Lichtenberg** rc. ihre Ansichten an den Tag gelegt, ohne daß einer derselben sich eines allgemeinen Beifalls zu erfreuen hätte. Beim Hagel kommt es vorzüglich darauf an, zu erklären, wie bei der größten Sommerhitze so große Eismassen entstehen können. Zu diesem Behufe nimmt **Volta** an, daß im Sommer die Wolken sehr hoch steigen und in sehr trockene Luftschichten kommen. Bescheint sie nun die Sonne, so entstehen an ihrer oberen Fläche Dünste, die in die Höhe steigen, aber dabei in kältere Luftschichten gelangen, und dort wieder zu einer Wolke verdichtet werden. Diese zwei über einander schwebenden Wolken müssen entgegengesetzte E haben, und zwar die untere $-E$, die obere $+E$; die in der unteren Wolke angefachte Verdünstung bindet Wärme, und bringt die Wassertheile in derselben zum Gefrieren. Die so entstandenen Eisstücke werden zwischen den zwei electrischen Wolken abwechselnd angezogen und abgestoßen, wie leichte Körper beim electrischen Tanze, und dadurch allmälig vergrößert, bis sie die Electricität der Wolken nicht mehr erhalten kann, wo sie dann herabfallen. Gegen diese Ansicht spricht aber, daß nach **Gay-Lussac's** Versuchen bei einer Temperatur über 8° C. selbst in trockener, geschweige erst in der gewöhnlichen, Dünste enthaltenden Luft, durch Verdünstung keine so große Kälte erzeugt werden kann, wie sie zur Hagelbildung Noth thut, daß noch Niemand,

so viele sich auch in Hagelwolken befanden, das Oscilliren der Hagelkörner beobachten konnte (Lecoc beobachtete aber, als er sich selbst in den Wolken befand, eine rasche Rotationsbewegung der Hagelkörner), daß niemals Hagelkörner unter hoch gelegenen Felsenvorsprüngen, Bäumen ꝛc., wohin sie doch bei ihrem Hin- und Herhüpfen gelangen müßten, gefunden wurden, daß selbst der electrische Tanz, dem das Oscilliren der Hagelkörner ähnlich seyn soll, zwischen einer Metallplatte und einer Wasserfläche nicht vor sich geht ꝛc. Nach v. Buch entsteht an Stellen, wo sich die Erde sehr stark erhitzt, ein aufsteigender Luftstrom, der die feuchte Luft zu einer solchen Höhe emporführt, daß schon beim Aufsteigen, und noch mehr in der obersten Stelle sehr viel Wasser daraus ausgeschieden wird, das in Tropfen herabfällt, verdünstet, gefriert, durch neuen Dunstniederschlag aus der Umgebung vermehrt wird, wieder gefriert, und so Hagelkörner bilden. Auch mit dieser Ansicht steht die Wärmebindung beim Verdunsten nicht im Einklange, indem beim gewöhnlichen hygroscopischen Zustande der Luft durch Verdünstung keine solche Kälte entstehen kann; auch sieht man daraus nicht ein, warum Hagel stets nur bei Gewitterausbrüchen Statt findet. man begreift nicht, wie sich beim Herabfallen der Anfangs gewiß nur kleinen Hagelkörner so große, als sie bereits beobachtet worden sind (zu Mastricht fielen am 3. August 1827 Eisstücke von 6 Z. Durchmesser, in Padua am 26. August 1835 Stücke von 17 Centimeter Durchmesser, zu Clermont im Juli 1835 ellipsoidische Körner von der Größe eines Hühnereies), bilden können, wie ein Hagelfall möglich sey, der sich über ganze Länder erstreckt (Arago erwähnt eines solchen Falles, der sich durch ganz Frankreich bis nach Holland erstreckte) ꝛc. Man muß demnach die Bildung des Hagels zu den bis jetzt unerklärten Phänomenen zählen.

Es ist leicht einzusehen, daß es Hagelableiter nicht in dem Sinne geben könne, wie Blitzableiter. Eiserne, im Freien aufgerichtete Stangen, die man als solche empfahl, können die E an so hoch schwebenden Wolken nicht ableiten, wie die sind, worin sich der Hagel bildet, und daher selbst nach Volta's Ansicht auch nicht die Bildung desselben hindern; ist er aber bereits gebildet, so können sie ihn höchstens durch Einsaugen der E zum Fallen bringen, und daher mehr zu- als ableiten. Sollte aber, gegen unsere theoretische Einsicht, ihre Wirkung so groß seyn, als man hie und da behauptet; so bleibt es unbegreiflich, daß Bäume oder Blitzableiter nicht auch zugleich Hagelableiter seyn sollten. Daß sie aber dieses nicht sind, lehrt die Erfahrung alljährlich, indem beholzte Gegenden und große, mit vielen Blitzableitern versehene Gebäude eben so gut vom Hagel getroffen werden, wie das flache Land mit seiner niederen Vegetation.

239. Von der Luftelectricität rührt höchst wahrscheinlich jene Erscheinung her, die man Wasserhose nennt. Man bemerkt nämlich, daß das Meer unter einer electrischen Wolke plötzlich zu wallen und unruhig zu werden anfängt, zur Gestalt eines hohlen 2—200 F. dicken und 30—1500 F. hohen Kegels anschwillt, und sich sammt der Wolke zum großen Schaden der Schiffe, die ihm in den Weg kommen, forttreibt und dabei sich beständig um eine Axe dreht. Wenn sich die

Wolke und der Wasserkegel vereinigen, oder nur sich ziemlich nahe kommen, stürzt jene als Regenguß herab; manchmal tritt sie auf das Land hinaus, und bewirkt im Sande dasselbe, wie im Wasser, wo dann eine Erscheinung eintritt, die man Erdtrombe nennt. Fig. 390 gibt die Abbildung einer Wasserhose. Beide Phänomene entstehen meistens bloß in der Nähe des Landes und unter dem Einflusse eines starken Temperatur- und Windwechsels, erscheinen nie bei ausgedehnten Gewittern oder bei einem weit um sich greifenden Winde. Kanonenschüsse sollen sie, nach der Aussage der Seeleute, zerstören. (Gilb. Ann. 6. 30. und 158; 7. 49; 83. 95.)

Nach Demaistre (Schweigg. J. 7. 291.) sind Wasserhosen nicht die Wirkung electrischer Anziehungen, sondern der Wirbelwinde, welche durch die geweckte Fliehkraft die Luft gegen die Peripherie des vom Wirbel beschriebenen Kreises treiben, und dadurch gleichsam ein Auffangen des Wassers bewirken. Demaistre schließt dieses aus einem Versuche, den er anstellte, indem er Wasser in einem Gefäße mit Mohnöl deckte, und letzteres durch ein Flügelrad in drehende Bewegung versetzte. Da hob sich in der That das Wasser in der Axe kegelförmig in die Höhe; allein davon kann man nicht auf einen ähnlichen Hergang im Freien schließen, wo der Mangel an Seitenwänden den Effect stark modificirt.

240. Zu den electrischen Erscheinungen gehört auch das Nordlicht. Dieses zeigt sich bisweilen in der Nordgegend des Himmels als eine dunkle Wolke in Gestalt eines kreisförmigen, vom Horizont begrenzten Segmentes, dessen Mittelpunkt im magnetischen Meridiane zu liegen scheint, und das mit einem hellen Ringe umgeben ist, aus welchem von Zeit zu Zeit häufige Lichtbüschel von verschiedenen Farben nach allen Richtungen ausfahren, sich manchmal bis zum Zenith erstrecken, daselbst eine Art Krone bilden, deren Mittelpunkt in der verlängerten Axe einer frei schwebenden Magnetnadel gegen Süden hin zu liegen scheint. Einige besonders starke Nordlichter sollen auch ein Geräusch verbreitet haben, wie das ist, welches ein Luftzug verursacht, doch wird dieses von Einigen gänzlich geläugnet. Fig. 387 stellt ein Nordlicht vor. Man sieht es in den Ländern von größerer Breite häufiger und schöner als bei uns, ja wir sehen nur jene Nordlichter, die hoch genug aufsteigen, um über unseren Horizont zu kommen. Aber auch nicht jede Gegend von großer geog. Breite ist dem Erscheinen der Nordlichter gleich günstig. Nach Einigen sollen in Sibirien und in Nordamerika mehr Nordlichter sichtbar seyn, als im nördlichen Europa. An demselben Orte ist manches Jahr reicher an Nordlichtern als ein anderes, vielleicht befolgen sie eine bestimmte Periode. Eine ähnliche Erscheinung findet man auch am Südpole, und nennt sie Südlicht. Zur Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung haben Halley, Euler, Mairan, Franklin, Hell, Lichtenberg, Dalton, Biot, Hansteen das Ihrige beigetragen, ohne doch eine genügende Theorie zu geben. Man kann nur bis jetzt mit Gewißheit Folgendes sagen: Weil das Nordlicht nicht wie die Sterne eine tägliche Bewegung von Ost nach West zeigt, so muß es an der Axendrehung der

Erde Theil nehmen, und daher in der Atmosphäre seinen Sitz haben. Die größte Höhe eines Nordlichtes soll 25000 Meter seyn. Es afficirt, der Erfahrung gemäß, häufig, aber nicht immer die Magnetnadel, und ändert ihre Abweichung, indem es ihr Nordende abstoßt, wirkt aber auf nicht magnetische, z. B. kupferne Nadeln, gar nicht, hat dabei mit dem Ausströmen der Electricität viele Aehnlichkeit, und läßt sich nach Thienemann gerade da am häufigsten sehen, wo die wenigsten Gewitter Statt finden. Es muß demnach die Electricität einen Antheil an seiner Erscheinung haben. Wichtig ist Hansteen's Erfahrung, daß kurz vor dem Eintritte eines Nordlichtes der Erdmagnetismus eine ungewöhnliche Stärke hat, die aber gleich nach dem Beginne des Nordlichtes abnimmt und unter die gewöhnliche Stärke herabsinkt. Aus allem diesen geht hervor, daß das Nordlicht in einer electrischen Entladung bestehe, über deren nähere Natur erst weitere Beobachtungen die nöthige Aufklärung geben müssen. (Zeitsch. 7. 242; 8. 110; 9. 212.)

Achtes Kapitel.

Lichtmeteore.

241. Es gibt viele Meteore, die ihr Entstehen ganz den Modificationen verdanken, welche das Licht beim Durchgange durch die Luft erleidet. Die vorzüglichsten derselben sind: 1) die Gestalt und Farbe des Firmamentes, 2) die Morgen- und Abendröthe, 3) das Funkeln der Sterne, 4) das sogenannte Wasserziehen der Sonne, 5) die astronomische Strahlenbrechung und Luftspiegelung, 6) Höfe um die Sonne, den Mond und um die Fixsterne; 7) Nebensonnen und Nebenmonde, 8) Regenbogen, 9) das Zodiakallicht.

242. Die atmosphärische Luft ist zwar keineswegs vollkommen durchsichtig; doch ist ihre Durchsichtigkeit so groß, daß sie uns erst in Schichten von sehr bedeutender Dicke sichtbar wird. Zur Beurtheilung der Entfernung der sichtbaren Luftschichten haben wir kein anderes Hilfsmittel, als die verschiedene Intensität der von ihnen in unser Auge gelangenden Strahlen. Da nun diese Intensität in der Regel rings um uns in gleicher Höhe gleich groß, nahe am Zenith aber größer ist, als tiefer abwärts; so scheint die sichtbare Luftmasse unsere Erde wie eine am Zenith etwas eingedrückte Kugel zu umspannen. Daß sie uns blau erscheint, vermögen wir freilich nicht weiter zu erklären, als daß wir sagen, es liege in der Natureinrichtung, daß von den durch die Erde der Luft zugesendeten Strahlen gerade die blauen vorzugsweise reflectirt werden. Die Durchsichtigkeit der Luft wird durch mehrere Umstände, vorzüglich durch beigemengte Stoffe und durch Wärmewechsel, bedeutend abgeändert, und darum wechselt die Farbe des Himmels vom intensivsten Blau durch alle Abstufungen desselben bis zum blassesten und zur gänzlichen Undurchsichtigkeit. Beigemengtes expansibles

Wasser macht die Luft durchsichtiger und erhöht daher den Ton ihrer blauen Farbe, aus demselben Grunde, aus welchem Papier durch Oelen durchsichtiger wird (S. 285); daher auch ein sehr dunkelblauer Himmel auf die Gegenwart vieler Dünste schließen läßt. So wie aber diese Dünste ihre Ausdehnsamkeit verlieren, machen sie den Himmel blasser, und können ihm seine Durchsichtigkeit ganz benehmen. Andere nicht ausdehnsame, in der Luft befindliche Stoffe, wie z. B. der sogenannte Sonnenstaub, wirken wie fein zertheiltes Wasser. Daher ist es begreiflich, warum der Himmel auf hohen Bergen ein dunkleres Blau hat, als in Thälern. Beim Sehen durch Fernröhre, bei Versuchen mit Brennspiegeln 2c. überzeugt man sich von Aenderungen der Durchsichtigkeit der Luft, die man mit freiem Auge gar nicht wahrnimmt. Sie rühren wahrscheinlich von der ungleichen Vertheilung der Wärme in der Luft, und vom Wechsel ungleich warmer Luftschichten her, die wie heterogene Mittel auf das Licht wirken. Saussure hat die Bläue des Himmels mittelst eines eigenen Instrumentes (Cyanometer) bestimmt. Der Grund dieser unvollkommenen Durchsichtigkeit der Luft liegt gewiß darin, daß sie kein stetiges Gemenge von ungleichartigen Körpern ist; denn ein Lichtstrahl wird nothwendig bei jedem Uebergange von einem Theilchen in den leeren Raum zum Theile reflectirt. Dieses zeigt sich vorzüglich dadurch, daß die Bläue des Firmamentes desto dunkler ist, je mehr sich Wasserdünste (nicht fein zertheiltes Wasser) in der Luft befinden, mithin je stetiger das Gemenge ist. Auf hohen Bergen fand Saussure die Luft völlig dunkelblau, und selbst in der Ebene erscheint sie uns nach einem Regen, besonders an der der Sonne gegenüberstehenden, heiteren Seite, von einem sehr gesättigten Blau, das gegen die Sonne hin immer blasser wird, und zuletzt völlig in Weiß übergeht.

Saussure's Cyanometer besteht aus einer in 51 Felder eingetheilten Platte, deren Farbe vom lichtesten bis zum dunkelsten Blau wechselt. Man erhält sie durch Vermischung des Blau mit Weiß oder Schwarz in verschiedenen, bestimmten Verhältnissen. Die Zahl des Feldes, dessen Blau mit dem des Himmels übereinstimmt, gibt den Grad der Bläue des letzteren an. Parrot hat ein anderes Cyanometer angegeben. (Gilb. Ann. 24. 69.) Leslie bestimmt die Durchsichtigkeit des Raumes durch ein Differenzialthermometer, das eine vergoldete Kugel hat, und mit der anderen im Brennpunkte eines parabolischen Hohlspiegels steht. Diese Kugel erkaltet desto mehr, je heller der Himmel ist. Er nennt dieses Instrument Aethrioskop.

243. Wenn der westliche Himmel heiter oder nur mit einem dünnen Wolkenschleier überzogen ist, so ziert ihn nach Sonnenuntergang die herrliche Naturerscheinung, die Abendröthe, deren Farbe nach der verschiedenen Reinheit des Firmamentes von Gelb und Hellroth bis zum Dunkelroth wechselt. Wenn nämlich die Sonne dem Untergange ziemlich nahe ist, und leichte Wolken am Horizont stehen, so erscheinen dieselben in Osten roth. So wie die Sonne tiefer sinkt, färben sich auch noch die westlichen dünnen Wolken mit dem Abendroth, und die ganze Abendgegend erscheint orange; dichtere, niederschwebende Wol-

ken sind mit herrlichem Purpur bekleidet, während höhere noch weiß erscheinen. Nach Sonnenuntergang sieht man, wenn am Tage das Firmament schön blau war, ein zartes Roth am Himmelsgewölbe, und in Osten, der Sonne gegenüber, einen dunklen, bogenförmigen Raum mit finsterem Blau, über diesem einen röthlichen, und noch höher hinauf einen weißen Bogen. Ueber diesem erscheint das gewöhnliche Blau des Firmamentes, das gegen Westen hin in mancherlei Abstufungen in die Farbe der Abendröthe übergeht. Alle diese Erscheinungen treten mehr und weniger deutlich hervor, und ihre größere oder kleinere Entwicklung hängt von der Stellung der Wolken, von der Durchsichtigkeit der Luft, und selbst von den am westlichen Horizont befindlichen irdischen Gegenständen ab. Am Morgen zeigt sich vor Sonnenaufgang unter ähnlichen Bedingungen an der Ostseite dieselbe Erscheinung, und heißt Morgenröthe. Diese Phänomene werden dadurch hervorgebracht, daß die Luft vorzugsweise blaues Licht reflectirt und gelblich rothes durchläßt. So lange die Sonne hoch steht, gehen ihre Strahlen durch eine zu wenig dicke und zu wenig mit Dünsten beladene Luftschichte, als daß die ihr eigenthümliche Färbung deutlich hervortreten könnte, je tiefer sie aber sinkt, eine desto dickere und desto mehr mit Dünsten geschwängerte Luft müssen die Lichtstrahlen durchwandern, und die von der Luft vorzugsweise durchgelassene Farbe muß bemerklich werden.

244. Weil die Dünste das Licht stärker brechen, als die reine Luft, so müssen sie, wenn sie vom Winde hin- und her bewegt werden, eine Erscheinung an den Gestirnen hervorbringen, welche dem Flackern einer vom Winde bewegten Flamme ähnlich ist. Geschieht dieses sehr schnell, so erscheinen die Sterne auch größer und heller. Es ist bekannt, daß man das Stattfinden dieser Erscheinung für einen Vorboten nasser Witterung ansieht. Aus der starken Licht brechenden Kraft der feuchten Luft erklärt sich auch die auffallende, scheinbare Nähe sonst ferner Gegenstände.

245. Wenn die Sonne hinter einem Gewölke steht, das nahe daran ist, Regen herabzuschütten, durch einige Oeffnungen desselben hindurchscheint und die Luft beleuchtet; so reflectiren die Wassertröpfchen das Licht, und es erscheinen Streifen, die lichter sind, als ihr Grund. Diese Streifen scheinen gegen die Sonne hin zu convergiren und sich hinter der Wolke zu vereinigen, als wenn sich dort die Sonne befände. Dieses Phänomen, welches unter dem Namen Wasserziehen der Sonne bekannt ist, verkündet baldigen Regen. Es erscheint im Sommer öfter als im Winter, und bei niederem Sonnenstande öfter als bei hohem. Seltener ereignet es sich, daß man Strahlen sieht, die von einem der Sonne gerade entgegengesetzten Punkte des Firmamentes auszufahren scheinen, aber immer viel schwächer sind, als die vorhin besprochenen. Sie beruhen auf demselben Grunde, wie jene. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengesetzten Gegend des Firmamentes hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion in den Dünsten der unteren Luftregion eben so sichtbar, wie ein Lichtstrahl in einem dunkeln Zimmer durch Reflexion in den feinen,

in der Luft schwebenden Stäubchen, und wiewohl diese Strahlen parallel sind, so scheinen sie doch durch optische Täuschung gegen die fernsten Stellen zu convergiren, gerade so wie eine parallele Baumreihe gegen das von uns entfernteste Ende zu convergiren scheint.

246. Wenn das Licht in die Atmosphäre eintritt, so erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe; dasselbe erfolgt, so oft es von dünnerer in dichtere Luft übergeht. Darum muß ein Lichtstrahl, der durch die ganze Atmosphäre zu uns gelangt, eine nach oben convexe Bahn beschreiben, die desto mehr gekrümmt ist, je länger der in der Atmosphäre zurückgelegte Weg des Lichtes ist. Die Wirkung dieser Krümmung der Bahn eines Lichtstrahles ist, daß jeder Punkt, der einen solchen Strahl in unser Auge abwärts sendet, höher zu liegen scheint. Am Horizont ist diese Wirkung am größten und am unregelmäßigsten, je näher dem Zenithe, desto kleiner und regelmäßiger erscheint sie, bis sie im Zenithe selbst ganz verschwindet. Die Kenntniß dieser Strahlenbrechung, die man, wenn die Strahlen von irdischen Objecten kommen, irdische, wenn sie von Himmelskörpern kommen, astronomische Strahlenbrechung nennt, ist bei der Bestimmung des Ortes eines entfernten Körpers von großer Wichtigkeit. Vermöge derselben geht die Sonne früher auf und später unter, so daß dadurch der längste Tag bei uns nahe um 8.5 M., in den Polargegenden um 1 Monat verlängert wird. Die Strahlenbrechung beträgt nahe am Horizont 30 M., in einer Höhe von 45° kaum 1 M., in einer Höhe von 75° nahe 16 Sec.; in mäßiger Entfernung vom Zenith ist sie der Tangente des Abstandwinkels proportional.

247. Die Brechung des Lichtes in der Luft erfolgt zwar in der Regel so, daß ein horizontal oder abwärts fahrender Strahl eine nach oben convexe Bahn einschlägt, weil die Luft in der Regel oben dünner ist, als unten; allein es gibt doch Fälle, wo wegen der höheren Temperatur der oberen Luftschichten das Gegentheil Statt findet, und ein aufwärts fahrender Strahl wieder abwärts gekrümmt wird. Dadurch können von den Gegenständen, die unter dem Horizonte liegen, Strahlen ins Auge gelangen und selbe sichtbar machen; es können auch diese sowohl, als auch die über dem Horizonte gelegenen Dinge doppelt, verkehrt, verschoben, in der Luft schwebend erscheinen, wie Fig. 377 zeigt. Alle diese Phänomene ereignen sich nur in großen (wenigstens 2 Stunden langen) Ebenen, und sind unter dem Namen der Luftspiegelung, Seegesicht, Kimmung bekannt. Es sey AB (Fig. 378) ein Gegenstand, der sich unter dem Horizonte OH des Auges O befindet. Werden die Strahlen, welche von AB ausgehen, so gebrochen, daß sie die Krümmung AO und BO bekommen, so erscheint AB über OH in ab. Werden die Strahlen, welche sonst über dem Auge vorbeigegangen wären, in dasselbe abgelenkt, so kann nebst ab auch noch ein zweites Bild a′b′ erscheinen, das sogar verkehrt seyn kann, wenn der untere Strahl eine mehr convexe Linie beschreibt, als der obere.

248. Bei feuchter Witterung sieht man nicht selten den Himmel mit einem dünnen Wolkenschleier überzogen, und die Sonne, den Mond oder auch Fixsterne der größeren Art mit einem Ringe umgeben, der lichter ist, als der übrige Theil des Firmamentes und Hof heißt. Dieser zeigt sich oft mit Regenbogenfarben. Man unterscheidet aber zweierlei Höfe, kleinere mit dem Körper, den sie umgeben, zusammenhängende, die, falls sie gefärbt erscheinen, nach außen roth sind, und bald einen größeren, bald kleineren Durchmesser haben, und größere, vom Centralkörper ziemlich weit abstehende, bei denen die rothe Farbe nach innen gekehrt ist, und deren Durchmesser gegen 45° beträgt; bei letzteren hat man auch oft einen zweiten Farbenring in doppelt so großer Entfernung vom leuchtenden Körper wahrgenommen. Fig. 392 zeigt dieses Phänomen.

249. Die Höfe hat Huyghens aus der Brechung des Lichtes in gefrornen Dunstkügelchen, die einen undurchsichtigen Kern haben, Mayer aus der Brechung in Dunstbläschen zu erklären gesucht. Die neueste Erklärung hat Fraunhofer geliefert, die der Natur der Sache mehr entspricht, als alle früheren. Die kleineren Höfe erklärt Fraunhofer aus einer Beugung der Lichtstrahlen, die an den Rändern der in der Atmosphäre schwebenden Dunstkügelchen vorbeifahren. Er beweiset, daß diese Beugung gerade so vor sich gehe, als wenn das Licht durch eine Oeffnung von einem dem Kügelchen gleichen Durchmesser geleitet würde, und überzeugte sich, daß man im Gesichtsfelde eines achromatischen Fernrohres die S. 362 beschriebenen, einem Hofe der kleineren Art völlig ähnlichen Farbenringe sieht, wenn man vor dem Objectivglase sehr viele, ungemein kleine Glaskügelchen von beinahe gleicher Größe anbringt, und durch eine runde Oeffnung einen starken Lichtstrahl darauf leitet. Diese Ringe sind desto größer, je kleiner die Glaskügelchen sind. Es stellen nun die kleinen Scheibchen in Fig. 382 Dunstkügelchen vor, auf welche von der Sonne oder dem Monde S directe parallele Strahlen auffallen, die am Rande jedes einzelnen Kügelchens gebeugt werden, und nach der Beugung unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Gesetzt, es fahren die vom Kügelchen b gebeugten so aus, daß rothe Strahlen, welche den ersten Ring bilden, ins Auge o gelangen, so werden die rothen des zweiten und dritten Ringes das Auge verfehlen, und den Weg bf, bg einschlagen. Dafür können vom Kügelchen a die rothen des zweiten Ringes nach o gelangen. Auf ähnliche Weise geschieht es mit den Strahlen von anderen Farben. Sind nun die Dunstkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen zerstreut, so sieht das Auge o Farbenringe um S, wovon der erste, rothe in einem Abstande boS, der zweite rothe in einem Abstande aoS vom leuchtenden Körper erscheine. Haben die Dunstkügelchen beinahe einerlei Größe, so haben alle homogenen Ringe einerlei Durchmesser, sie fallen auf einander und verstärken den Eindruck jedes einzelnen; haben sie aber eine verschiedene Größe, so fallen die Ringe von verschiedener Farbe an denselben Platz, die Farben werden matter oder verschwinden ganz, so daß nur ein heller Ring um den leuchtenden Kör-

per übrig bleibt. Sind die Dunstkügelchen groß, so werden die Farbenringe sehr klein, und können um größere und heller leuchtende Gestirne nicht mehr gesehen werden, theils weil des größeren Durchmessers wegen die Farben in einander fallen, theils weil ihr Licht in so großer Nähe beim leuchtenden Körper verschwindet. In diesem Falle können aber noch um Fixsterne Höfe erscheinen. Man begreift wohl, daß man in einem sehr feuchten Zimmer um ein Kerzenlicht einen Hof wahrnehmen kann, und daß der Mond und die Sonne durch ein stark mit Dünsten beschlagenes Fenster mit einem Hofe erscheinen muß, während man im Freien dieses nicht bemerkt. — Die größeren Höfe erklärt Fraunhofer aus der Brechung des Lichtes in Eiskrystallen aus sechsseitigen oder dreiseitigen Prismen. Er zeigt, daß sie nicht durch Beugung oder Brechung und Reflexionen in Dunstkügelchen oder Dunstbläschen abgeleitet werden können, bestimmt aus seiner Formel den Durchmesser der größeren Höfe, der mit dem durch die Erfahrung gegebenen sehr wohl übereinstimmt. Haben die Eisprismen eine pyramidale Zuspitzung, so lassen sich aus einer Brechung des Lichtes in denselben auch die zweiten größeren Höfe, ja durch Reflexion des in ein solches Prisma einfallenden Lichtes im Inneren desselben, sogar ein dritter, wie ihn Hevel gesehen haben will, vollständig, dem Maße nach erklären. (Dove in Pogg. Ann. 26. 310.)

250. Manchmal sieht man bei trüber Luft und kalter Witterung nebst der wahren Sonne oder dem wahren Monde noch mehrere andere, die man Nebensonnen und Nebenmonde nennt. Sie befinden sich im Umfange eines weißlichen, horizontalen Ringes (Nebensonnenkreises), dessen Breite dem scheinbaren Durchmesser des Gestirnes gleicht, und der selbst von farbigen Höfen, die das Gestirn umgeben, durchschnitten wird. Die Nebensonnen und Nebenmonde stehen in dem Durchschnitte des obigen Ringes und der Höfe, haben nicht selten vom Gestirne abgewendete, weiße, lange Schweife, und sind auch manchmal mit dem wahren Gestirne durch ein lichtes Kreuz verbunden. (Fig. 389.) Das innerhalb des kleineren Hofes befindliche Stück des Nebensonnenkreises erscheint immer matter als der übrige Theil desselben. Man bemerkte auch schon Nebensonnen in einer verticalen, lichten, dem Durchmesser des gerade aufgehenden Gestirnes an Breite gleichen Säule. Selten zeigt sich das Phänomen der Nebensonnen in seiner ganzen Vollständigkeit, wo es aus wenigstens dreizehn Ringen oder Ringtheilen besteht, in deren Durchschnittspunkten die Nebensonnen erscheinen.

251. Die Nebensonnen und Nebenmonde, nebst den sie begleitenden Phänomenen, hat zuerst Huyghens, und in unserer Zeit Fraunhofer zu erklären gesucht, und wiewohl diese beiden Gelehrten von sehr verschiedenen Gesichtspunkten ausgingen, so genügen doch beide Erklärungen der Erfahrung, und es muß erst die Zukunft hierüber näher entscheiden. Huyghens nimmt an, es bilden sich in den Wolken sechsseitige Eisprismen, die bei ihrem Herabsinken eine solche Lage annehmen, daß sie den kleinsten Widerstand erfahren, und diesem ge-

mäß nehmen die Axen der längeren Prismen (Eisnadeln) eine verticale, jene der kürzeren (Tafeln) eine horizontale Lage an. Die verticalen Seitenflächen der ersteren und die Grundflächen der letzteren stellen eben so viele verticale Planspiegel vor, welche dem Auge des Beobachters vom leuchtenden Körper Licht zusenden, und ihm von demselben ein Bild gewähren, welches mit ihm gleich hoch steht und einen Winkelabstand hat, der dem doppelten Einfallswinkel des Lichtes, von der Spiegelfläche an gerechnet, gleich kommt. Sind diese Eisnadeln in allen Azimuthen vorhanden, so liefern sie einen horizontalen farblosen Lichtring von der Breite des leuchtenden Objectes. Er geht durch dieses Object, weil die sehr schief einfallenden Strahlen ein diesem Objecte sehr nahes, jene aber, deren Einfallswinkel = o ist, ein wirklich mit dem Objecte zusammenfallendes Bild geben. Diese Erklärung hat neuestens Babinet durch künstliche Nachbildung des betreffenden Phänomens auf dem Wege der Reflexion zu bekräftigen gesucht. Nach Fraunhofer rühren die gesammten, hier in Rede stehenden Phänomenen von der Beugung des Lichtes an Dunstkügelchen her. Der Umstand, daß die aufgehende Sonne, durch ein Gitter angesehen, welches aus horizontalen, einander hinreichend nahen und gleich weit von einander abstehenden Fäden besteht, das Phänomen der verticalen Nebensonnen ganz genau zeigt, brachte ihn auf den Gedanken, diese Erscheinung entstehe durch Beugung des Lichtes an den Dunstkügelchen der Atmosphäre. Man denke sich in einer Schichte des Dunstkreises Dunstkügelchen, die gegen die Weltgegenden unregelmäßig verbreitet sind, aber doch so liegen, daß je zwei von ihnen für einen horizontal auffallenden Strahl einerlei Entfernung haben. Fallen nun Strahlen der im Horizonte befindlichen Sonne auf sie ein, so werden sie an ihren Rändern gebeugt, in verticaler Richtung wirken sie aber viel näher auf einander ein, als in horizontaler, und bringen dieselben Phänomene hervor, wie die vorher genannten parallelen, horizontalen Linien. Daß keine Farben zum Vorschein kommen, rührt davon her, daß wegen der Ausdehnung des Sonnendurchmessers die verschiedenfarbigen Streifen in einander fallen, und durch ihren Gesammteindruck die Empfindung der weißen Farbe erzeugen. Weil der Abstand der Mitte je zweier Dunstkügelchen an verschiedenen Tagen verschieden seyn kann, so ist auch der Abstand der verticalen Nebensonnen nicht immer nothwendig derselbe, und weil dieser Abstand für verschiedene Kügelchen in einem großen Grade ungleich seyn kann, so erscheint oft gar keine Nebensonne, sondern nur ein verticaler Lichtstreifen, d. i. eine sogenannte Feuersäule, wie man sie manchmal sieht. Auch eine dem horizontalen Ringe analoge Erscheinung lehrt Fraunhofer künstlich hervorbringen. Radirt man in ein mit Gold belegtes Glas parallele, aber sehr ungleich von einander abstehende Linien, und sieht durch dieses, bei einer verticalen Richtung der Linien auf die Sonne, so erblickt man zu beiden Seiten derselben einen horizontalen, weißen Lichtstreifen, der so breit ist, wie der scheinbare Sonnendurchmesser, und so lang als das Glas. Sieht man die Sonne durch ein solches Glas an, worauf gerade,

von einem Punkte ausgehende Linien gezogen sind, und welches gegen die Sonne gehörig geneigt ist, so erblickt man einen vollständigen weißen Kreis. Gibt es nun im Dunstkreise kleine Körperchen, z. B. Dunstkügelchen, Krystalle, die für den horizontal kommenden Lichtstrahl in verticalen Linien zu liegen scheinen, für das Auge des Beobachters eine regelmäßige Lage haben, und deren Abstände gegen ihren Durchmesser sehr klein sind; so bieten sie den Lichtstrahlen im verticalen Sinne keine Zwischenräume dar, sondern decken sich, und die Strahlen werden daher nur in horizontaler Richtung abgelenkt, und gelangen so ins Auge. Daher der horizontale Kreis. Seine Farblosigkeit kommt wieder von der verschiedenen Entfernung je zweier beugender Körper oder von ihrer verschiedenen Größe. Können auch im verticalen Sinne einige Strahlen gebeugt werden, so bemerkt man auch einen verticalen Lichtstreifen vom leuchtenden Körper aus, so daß dieser mit einem Kreuze erscheint. Wo der horizontale Ring einen Hof durchschneidet, muß eine größere Lichtstärke herrschen, und es muß daselbst eine horizontale Nebensonne erscheinen, die noch dadurch verstärkt wird, daß wegen den im horizontalen Sinne größeren Zwischenräumen der Eiskrystalle nach dieser Richtung mehr gebeugtes Licht ins Auge des Beobachters gelangen kann. Der Schweif, welcher Nebensonnen oft begleitet, kommt daher, daß die gebrochenen Strahlen zwar an bestimmten Stellen (wo sie den größeren Hof bilden) am stärksten das Auge afficiren, allein doch auch außerhalb dieser Stelle noch eine empfindbare Stärke haben. (Theorie der Höfe, Nebensonnen von Fraunhofer, in den astronomischen Nachrichten herausgegeben von Schumacher. Altona 1825. Heft 3. Pogg. Ann. 16. 67. Brandes in seinen Unterhaltungen für Freunde der Physik. 3. Heft. S. 205. Babinet in Pogg. Ann. 41. 128.)

Diese Lichtphänomene sind viel häufiger, als man gewöhnlich glaubt. Mayer hat in einem Jahre (April 1826 bis April 1827) um die Sonne 47 große, 6 kleine Ringe, 13 horizontale und 7 verticale Nebensonnen, und um den Mond 12 große, 15 kleine Ringe beobachtet. Kleine Ringe sollen sich besonders bilden, wenn der Cirrocumulus am Himmel sich zeigt, und auch desto größer seyn, je größere Flocken diese Wolkenart bildet. Große Ringe, Nebensonnen, Nebenmonde rc. fordern zu ihrem Entstehen entweder den Stratus oder den Cirrostratus. (Mayer in Kast. Arch. 13. 237.)

252. Eine der schönsten Lufterscheinungen ist der Regenbogen. Er erscheint in jenen Regenwolken, die von der Sonne beschienen werden, und dem Auge des Beobachters gegenüberstehen, und zeigt die gewöhnlichen prismatischen Farben, wovon Violett nach innen, Roth nach außen vorkommt. Wenn diese Farben recht lebhaft sind, so bemerkt man auch einen zweiten Regenbogen mit einem größeren Halbmesser, als jener des ersteren ist, seine Farben sind minder lebhaft und folgen in verkehrter Ordnung auf einander, so daß die innere roth, die äußere violett ist. Manchmal zeigen sich nur Stücke eines Regenbogens, sogenannte Regengallen. Regenbogen, welche unter denselben Bedingungen durch den Mond entstehen, wie die genannten durch die Sonne, sind nicht so häufig, und immer matter als erstere.

253. Die Entstehung des Regenbogens beruht auf der Brechung und Reflexion des Lichtes und der sie begleitenden Farbenzerstreuung in den herabfallenden Wassertropfen. Es sey (Fig. 379) A ein Regentropfen, C sein Mittelpunkt, SA ein Sonnenstrahl, der mit dem Horizonte OH den Winkel SHO macht. Dieser wird beim Auffallen auf A nach B gebrochen, da zum Theile reflectirt und beim Austritte wieder so gebrochen, daß er nach O gelangt. Man kann durch Rechnung zeigen, daß die Strahlen, welche parallel auf A auffallen, auch wieder fast parallel nach O reflectirt werden, wenn $ACB = 59^\circ\ 24'$ ist, und daß daher, wenn in O das Auge des Beobachters steht, es das Sonnenbild deutlich nach der Richtung OE sehen wird. Bei der Brechung wird der Lichtstrahl zugleich in seine farbigen Bestandtheile zerlegt, so, daß von den in und um A auffallenden Strahlen nur eine Gattung derselben ins Auge kommen kann. Die Rechnung lehrt, daß, wenn der Winkel SEO, welchen der auffallende Strahl mit dem gebrochenen macht, $40^\circ\ 16'$ beträgt, nur violette, wenn er aber $42^\circ\ 2'$ beträgt, nur rothe Strahlen nach O kommen werden, während bei einem Winkel, der größer als jener, aber kleiner als dieser ist, das Auge von den zwischen Roth und Violett liegenden getroffen wird. Denkt man sich daher OF parallel mit SA, $EOF = 42^\circ\ 2'$, $E'OF = 40^\circ\ 16'$, so sieht man leicht, daß alle Tropfen, welche unter demselben Winkel Strahlen aussenden und rings um OF herumliegen, das Bild eines gefärbten Bogens erregen werden, dessen Breite $42^\circ\ 2' - 40^\circ\ 16' + 30'$ (als scheinbarer Sonnendurchmesser), $= 2^\circ\ 16'$ beträgt, und dessen Höhe von der Sonne abhängt.

Es sey C (Fig. 380) der Mittelpunkt eines Wassertropfens, SA ein einfallender Strahl, $CAK = e$ der Einfallswinkel, AB die Richtung des gebrochenen Strahles und $CAB = r$; ferner BD die Richtung des reflectirten Strahles, woraus folgt $ABC = CBD = r$, und DF die Richtung des austretenden Strahles, mithin $SKF = 2\omega$ der Winkel, den der Strahl nach zwei Brechungen und einer Reflexion mit dem directen Strahle macht. Es ist klar, daß die den Winkel ABD halbirende Linie CB verlängert auch AKD halbirt, und daß man hat

$$r = e - r + \omega,$$
$$\omega = 2r - e.$$

Ist nun SA ein Strahl, der nach seinem Austritte aus D zu den wirksamen gehört, so darf sich ω für einen Strahl, der mit SA parallel eintritt, nicht ändern. Wird nun für einen solchen Strahl aus r, $r + \rho = r'$ und aus e, $e + \varepsilon = e'$, so hat man dafür

$$\omega = 2(r + \rho) - (e + \varepsilon) = 2r - e + 2\rho - \varepsilon,$$
$$\omega = \omega + 2\rho - \varepsilon, \text{ d. i.}$$
$$2\rho = \varepsilon \ldots (a).$$

Heißt das Brechungsverhältniß von Luft in Wasser $n : 1$, so ist

$$\sin e : \sin r = n : 1, \text{ und}$$
$$\sin e = n \sin r \ldots (b),$$
$$\sin(e + \varepsilon) = n . \sin(r + \rho),$$
$$\sin e . \cos \varepsilon + \sin \varepsilon . \cos e = n . \sin r . \cos \rho + n . \sin \rho \cos r, \text{ d. i.}$$
$$n . \sin r . \cos \varepsilon + \sin \varepsilon . \cos e = n . \sin r . \cos \rho + n . \sin \rho \cos r \quad (c).$$

Weil aber der genannte Strahl, wenn ihn ein Auge zugleich mit dem ersten soll aufnehmen können, sehr nahe am ersteren liegen muß; so wird

$\cos \iota = 1$, $\sin \iota = \iota$, $\cos \rho = 1$, $\sin \rho = \rho$, mithin aus (c)

$$n \cdot \sin r + \iota \cdot \cos e = \sin r + n\,\rho \cdot \cos r \text{ oder}$$
$$\iota \cdot \cos e = n \cdot \rho \cos r \text{ und aus (a),}$$
$$2 \cdot \cos e = n \cdot \cos r, \text{ mithin}$$
$$4 \cdot \cos e^2 = n^2 \cos r^2, \text{ ferner aus (b)}$$
$$\sin e^2 = n^2 \sin r^2, \text{ daher}$$
$$4 \cdot \cos e^2 + \sin e^2 = n^2 (\cos r^2 + \sin r^2) = n^2,$$
$$4 \cdot \cos e^2 + 1 - \cos e^2 = n^2 \text{ und}$$
$$\cos e = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}.$$

Setzt man nun für n die jedem gegebenen Brechungsverhältnisse entsprechenden Zahlen, so kann man hieraus die Werthe von ω und e berechnen und obige Größen finden.

254. Den äußeren Regenbogen erklärt man sich auf ähnliche Weise. Es sey ein Lichtstrahl SA (Fig. 381), der auf den Regentropfen fällt, dessen Mittelpunkt C ist. Dieser bekommt in A durch Brechung die Richtung AB, durch Reflexion in B und D die Richtung BD und DE, und endlich beim Austritte durch eine abermalige Brechung EO, und gelangt so ins Auge O. Besteht der Lichtstrahl, wie es bei Sonnenstrahlen der Fall ist, aus ungleich brechbaren Theilen, so tritt in E ein Lichtbüschel aus, wovon nur ein bestimmter Theil ins Auge O gelangt. Ist OF parallel mit AS, so kann man beweisen, daß rothes Licht ins Auge kommen wird, wenn EOF = 50° 59′ ist; hingegen violettes, wenn dieser Winkel 54° 9′ beträgt. So wie im vorigen Falle werden auch die Tropfen, welche innerhalb der genannten Grenzen liegen, den farbigen Bogen erzeugen.

Zieht man auf den Durchschnittspunkt des einfallenden und austretenden Strahles von C die Gerade CG, so wird CGE = CGA = ω, ACG = ECG = x, und CAB = CBA = CBD = BDC = CDE = r. Man hat daher alle Winkel um C herum, nämlich

$$6R - 6r + 2x = 4R \text{ oder}$$
$$x = 3r - R, \text{ aber}$$
$$\omega = e - x, \text{ und daher}$$
$$\omega = e - 3r + R.$$

Durch eine ähnliche Rechnung, wie die vorhin angestellte, findet man für die wirksamen Strahlen

$$\iota = 3\rho,$$
$$3 \cos e = n \cdot \cos r, \text{ woraus man mittelst der Gleichung}$$
$$\sin e = n \sin r \text{ erhält;}$$
$$\cos e = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}}.$$

Durch Substitution der für n gehörigen, numerischen Werthe erhält man obige Größe der Winkel.

255. Aus dieser Ansicht, deren Richtigkeit man übrigens auch durch Versuche mit einer gläsernen Kugel prüfen kann, indem man sie erhöht oder erniedriget, bis man in ihr diese oder jene prismatische Farbe wahrnimmt, und noch dazu dadurch unterstützt wird, daß das Regenbogenlicht wirklich wie durch Reflexion polarisirt ist, so wie es die Theorie fordert, läßt sich auch einsehen, daß bei uns nie ein Regenbogen gegen Süden erscheinen kann, daß jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen sieht, und zwar in jedem Augenblicke einen ande-

ren, indem die Sonne ihre Lage gegen die Regenwolke in jedem Augenblicke ändert, daß er in jedem Augenblicke von anderen Tropfen gebildet wird, daß besonders im flachen Lande, wo die Regenwolken gewöhnlich weit entfernt sind, nur ein Stück des gefärbten Kreises über dem Horizonte liegt. Es wird nämlich das sichtbare Stück des Regenbogens durch den Winkel (Fig. 379) EOH = EOF — HOF = 42° 2′ — HOF ausgedrückt, wobei HOF die Sonnenhöhe bezeichnet. Man sieht daher nur einen Regenbogen, wenn die Sonnenhöhe kleiner als 42° 2′ ist, und der sichtbare Bogen hat selbst beim Sonnenuntergange nur eine Höhe von 42° 2′. Auf hohen Bergen sieht man einen größeren Theil, und man würde einen ganzen Kreis sehen, wenn das Auge 42° 2′ unter den Horizont reichte. Dieses kann geschehen, wenn die Tropfenwand dem Auge nahe ist, wie es bei Wasserfällen oft geschieht.

256. Außer den zwei leicht zu erklärenden Regenbogen zeigen sich manchmal auch noch ungewöhnliche Erscheinungen. Dahin gehören die umgekehrten Regenbogen und diejenigen, welche außer dem ersten und zweiten Hauptbogen erscheinen. Erstere erklärt man sich auch unter anderen daraus, daß die Sonne sich in einem ruhig stehenden Wasser spiegelt; letztere kommen wahrscheinlich von den Lichtstrahlen, welche bei der Reflexion im zweiten Bogen die Tropfen durchdringen, auf andere Tropfen fallen, und von diesen wieder ins Auge des Beobachters gelangen. Chiminello, Mayer, Hube, Young, Schmidt geben andere Erklärungen dieser Erscheinungen.

257. Zu den leuchtenden merkwürdigen Lufterscheinungen gehört auch das Zodiakallicht, d. i. ein blasser, weißlicher Schimmer, welcher die Gestalt einer schief liegenden Pyramide hat, deren Basis auf dem Horizonte steht, deren Spitze nach dem culminirenden Punkte des Aequators gerichtet ist. Es erscheint nur zur Zeit der Nachtgleichen, und zwar im Herbste vor, im Frühlinge nach Sonnenuntergang. Nach Mairan's Erklärung ist diese Erscheinung die entweder selbst leuchtende oder erleuchtete Sonnenatmosphäre, welche wegen des schnellen Umschwunges der Sonne eine linsenförmige Gestalt hat. Daß man sie nicht immer sieht, kommt von der schiefen Lage der Ecliptik gegen den Horizont und der verschiedenen Dauer der Dämmerung. Allein es läßt sich nach dem Gesetze der Gravitation darthun, daß sich die Sonnenatmosphäre nicht einmal bis zur Mercurbahn erstreckt, mithin diese Erscheinung durchaus nicht hervorbringen kann. Man muß deßhalb diese Erscheinung zu den noch unerklärten zählen.

Neuntes Kapitel.

Feuermeteore.

258. Die sogenannten feuerigen Lufterscheinungen gehören zu den räthselhaftesten Phänomenen im Reiche der Natur. Man hat über ihr Entstehen und Wesen nichts als mehr oder weniger gewagte Hypothesen. In die Classe dieser Erscheinungen gehören die Irrlichter, Sternschnuppen und Feuerkugeln.

259. Die **Irrlichter** sind kleine Flämmchen, welche Nachts, vorzüglich an feuchten Orten, wo thierische Körper in Fäulniß übergehen, bemerkt werden, auf und nieder, hin und her hüpfen, sich zu einem vereinigen und sich wieder trennen. Sie sind wahrscheinlich gephosphortes Wasserstoffgas, das sich successiv, an verschiedenen Punkten in verschiedener Menge entwickelt, und sobald es die unteren, vorzüglich Nachts durch die Pflanzen ausgehauchten Schichten kohlensaurer Luft überschritten hat, sich entzündet. Wenn sie auch ununterbrochen zu leuchten scheinen, so kommt dieses doch nur davon her, daß die Luftentwicklung ununterbrochen vor sich geht, und jedes verbrannte Theilchen gleich wieder durch ein anderes ersetzt wird. Durch den Luftzug können solche Theilchen verschiedene Bewegungen bekommen, sich heben und senken, vertheilen und sich wieder vereinigen.

260. Jedermann kennt gewiß jene kleinen leuchtenden Körper, die, einem Sterne ähnlich, mit bedeutender Geschwindigkeit am Himmel fortschießen, und in wenigen Secunden verschwinden. Man nennt sie **Sternschnuppen**. Sie erscheinen in sehr verschiedener Größe, und zwar wie Sterne der dritten bis sechsten Größe, oft sogar so glänzend wie Jupiter und Venus. Bei einigen derselben bleiben Schweife zurück, welche einen Theil der zurückgelegten Bahn mit einem blassen Lichte bezeichnen, aber auch diese verschwinden schon nach wenigen Secunden, und dauern nur bei den größten derselben Minuten lang. Aus correspondirenden Beobachtungen hat man die Höhe kennen gelernt, in welcher sie verschwinden; diese wechselt von 1 — 50 Meilen. Man glaubt aber, daß einige derselben bis zur Erde herabfallen, und manche hielten die schleimigen, gallertartigen Stoffe, welche man an solchen Stellen gefunden hat, für Ueberreste von Sternschnuppen, wiewohl sich gegen eine solche Annahme gegründete Einwürfe erheben lassen. Die Geschwindigkeit, mit der die Sternschnuppen ihre Bahn durchlaufen, ist bedeutend, und man nimmt an, daß sie in einer Secunde 4—8 Meilen zurücklegen. Meistens gehen sie abwärts, oft auch horizontal, ja man hat sogar aufwärts fahrende beobachtet, doch scheint letzteres eine bloße Anomalie zu seyn, die an der betreffenden Sternschnuppe durch eine partielle Explosion nach dem Gesetze der Rückwirkung, wie wir dieses an Raketen bemerken, bewirkt wird. Die Sternschnuppen sind jedem Klima und jeder Gegend eigen, und ihr Erscheinen ist von der Witterung ganz unabhängig, aber nicht zu allen Zeiten bemerkt man deren, selbst unter sonst günstigen Umständen gleich viele. Am häufigsten hat man sie nun seit mehreren Jahren Mitte Novembers und dann Mitte Augusts beobachtet. Merkwürdig ist, daß die meisten derselben aus der Gegend des Sternbildes des Löwen zu kommen scheinen. Ueber die Natur dieser merkwürdigen Phänomene ist man noch keineswegs im Reinen. Der jetzt wahrscheinlichsten Annahme zu Folge sind die Sternschnuppen kleine Massen, die vom Weltraume mit planetarischer Geschwindigkeit nach den Gesetzen der allgemeinen Schwere um die Sonne kreisen, und wenn sie in unsere Atmosphäre kommen, sich darin entzünden, und sich dabei entweder ganz

verzehren oder in einer oder der anderen Form herabfallen, oder endlich auch, nachdem sie den in ihrer Bahn liegenden Theil der Atmosphäre durchwandert haben, wieder ihren Weg um die Sonne fortsetzen. Daß sie gerade im November und August in größerer Zahl bemerkbar sind, mag davon herrühren, daß die Bahnen solcher Körper gerade da einander am nächsten liegen (eine Art Milchstraße bilden), wo sich die Erde an der ersten Hälfte des November und August befindet. (Beobachtungen über Sternschnuppen von Brandes. Leipzig 1825. Pogg. Ann. 29. 447; 31. 159; 33. 189; 36. 315; 38. 550; 39. 353, 415, 461; 41. 175; Zeitsch. n. F. 2. 11; Schumachers Jahrbuch für 1837. S. 36.)

261. Von ähnlicher, nur der Größe nach verschiedener Natur scheinen die Feuerkugeln, fliegenden Drachen u. dergl. zu seyn. Sie erscheinen oft zugleich mit den Sternschnuppen, unabhängig von Klima und Wetter, in Gestalt leuchtender Massen in einer so bedeutenden Höhe, daß man sie in weit entfernten Orten zugleich sehen kann. Sie bewegen sich in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Bahn mit sehr großer Geschwindigkeit abwärts, verschwinden ohne eine Spur zurückzulassen, oder zerspringen mit großem Getöse und lassen eine steinartige Masse, Meteorsteine, in vielen Stücken, glühend heiß und weich, zur Erde fallen. Die Meteorsteine sind körnig krystallinische Massen, die meistens äußerlich mit einer dunkleren Rinde überzogen sind. Sie bestehen ganz aus Eisen oder sind doch von metallinischem Eisen durchsetzt. Die meisten sind sich in der Zusammensetzung ihrer Bestandtheile so ähnlich, wie Stücke derselben Felsenmasse. Sie unterscheiden sich von den auf der Erde vorkommenden Körpern durch den Reichthum an Talkerde, durch Seltenheit der Kieselerde und dem unbedeutenden Gehalt an thonigen und alkalinischen Silicaten, besonders aber durch das Vorkommen des gediegenen Eisens, das in diesem Zustande auf der Erde nicht gefunden wird, haben aber mit den auf der Erde vorkommenden Mineralkörpern das gemein, daß die einfachen Stoffe und einige Mischungen derselben zu mineralogischen Arten in beiden auf gleiche Weise vereinigt sind. Ihr sp. Gewicht beträgt 3.5 — 4.28.

262. Da die Meteorsteine das eigentliche Material der Feuerkugeln sind, und diese, so wie die ihnen gleich beschaffenen Sternschnuppen, nach dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse als dem Weltraume angehörige, vielleicht nur zufällig in unsere Atmosphäre gerathende Körper angesehen werden müssen; so fallen die Hypothesen über den atmosphärischen oder lunarischen Ursprung der Meteorsteine als unhaltbar von selbst weg, und es bleibt nur jene übrig, welche ihnen einen kosmischen Ursprung anweiset. (Fischer in den Abhandlungen der Berliner Gesellschaft 1820, 1821. Chladni über Feuermeteore und über die mit denselben herabgefallenen Massen, mit Steindrucktafeln und deren Erklärung von Schreibers. Wien 1819. Ideler über den Ursprung der Feuerkugeln und des Nordlichtes. Berlin 1832. v. Holger in Zeitschrift 7. 129, 279; 9. 323.

v. Schreibers in Zeitsch. n. F. 1. 193. Berzelius in Pogg. Ann. 33, 1. 113. Hoff ebend. 36. 161.)

Zehntes Kapitel.

Einiges über Wetteranzeigen.

263. Nicht alle der abgehandelten Meteore sind für uns von gleicher Wichtigkeit. Die Wärmemeteore, die Winde, die wässerigen Niederschläge, und zum Theile auch die Gewitter spielen durch ihren großen Einfluß auf die Vegetation und auf den thierischen Haushalt die Hauptrolle; darum bestimmt auch der Inbegriff derselben vorzugsweise den Charakter des Wetters, und deren Eintreten vorherzusagen, war von jeher der Gegenstand vielfacher Bemühungen; aber wir sind selbst bei dem gegenwärtigen vorgerückten Zustande der Physik noch sehr weit vom Ziele entfernt. Die geringen Fortschritte in diesem Punkte erklären sich leicht aus der Schwierigkeit des Gegenstandes. Findet doch der Astronom, welcher es nur mit einer einzigen Kraft, nämlich mit der Gravitation, zu thun hat, wenn er ein Phänomen am Himmel vorherbestimmen will, viel Schwierigkeit, sobald nur mehr als zwei Himmelskörper zur Erzeugung dieses Phänomens, wenn auch nach demselben Gesetze zusammenwirken, und der Meteorolog soll Phänomene vorherbestimmen, die von so vielen Ursachen abhängen, welche sich überdieß nicht einmal der Größe nach bestimmen lassen, und nicht gestatten, von der Intensität derselben an einem Orte auf die an einem anderen zu schließen. Ohne Zweifel unterliegt jedes die Witterung constituirende Phänomen einer periodischen Wiederkehr, und könnte man jedes von allen übrigen isoliren, so würde man das Gesetz der Wiederkehr leicht erkennen. Allein das Zugleichseyn so vieler Erscheinungen, die, wenn auch jede einzelne eine Periode einhaltend, doch mit ihren verschiedenen Phasen auf einander fallen, maskirt die Regelmäßigkeit des Ganzen, und läßt die Witterung, besonders der gemäßigten Zone, als ungeregeltes Chaos erscheinen. Der Meteorolog, der seine Wissenschaft ernstlich fördern will, muß daher vor allem dahin arbeiten, die Phänomene zu isoliren, um das Gesetz jedes einzelnen kennen zu lernen. Die Zusammensetzung der Gesetze der einzelnen Erscheinungen wird dann von selbst das Gesetz des Ganzen als Resultirende geben, der fest geschlungene Knoten der Witterungserscheinungen wird sich entwirren, und Wetterprophezeihungen werden nicht mehr ein so mißliches Geschäft seyn, wie jetzt, wo man höchstens nur isolirte Wetterregeln geben kann.

264. Alle derlei Wetterregeln lassen sich füglich in zwei Classen bringen. In die erste zählen wir jene, die sich nicht bloß durch vielfache Beobachtungen allgemein bewährt haben, sondern deren Richtigkeit auch aus den anerkannten Naturgesetzen begreiflich ist; in die zweite jene, für welche wohl vielfache Erfahrungen sprechen, die man aber nicht zu erklären vermag, wiewohl sie mit der Theorie nicht im Widerspruche stehen. Solche, die anerkannten Gesetzen oder sich selbst

widersprechen, sollen billig der verdienten Vergessenheit überliefert werden.

265. Die sichersten Wetterregeln ergeben sich 1) aus den Luftbewegungen, d. h. aus den Winden und den Oscillationen des Barometers; 2) aus der Durchsichtigkeit der Luft und der Farbe des Firmamentes; 3) aus dem Aussehen der Sonne, des Mondes und der Sterne; 4) aus den Wolken; 5) aus der Feuchtigkeit der unteren Atmosphäre; 6) aus der vorhergehenden Witterung; 7) aus dem Mondesstande; 8) aus dem Benehmen mancher Thiere und Pflanzen.

266. Es ist aus dem früher Abgehandelten (206) klar, daß die Winde auf die Wärme und Feuchtigkeit der Luft einen sehr großen Einfluß nehmen müssen, weil sie uns die Luft entfernter Gegenden mit ihrer Temperatur und ihrem Wassergehalte zuführen. Verbindet man damit noch die Thatsache, daß warme Winde stets von oben, kalte aber von unten einbrechen, und daß die Drehung des Windes fast immer nach dem im erwähnten Drehungsgesetze vor sich gehe; so wird man sich den Zusammenhang zwischen den Winden und den Wärme- und Wassermeteoren, wie er oben aus einander gesetzt worden ist, leicht erklären können. Die Wärmeerscheinungen unserer Gegenden werden vorzugsweise durch die zwei einander abwechselnd verdrängenden Luftströme, dem Polar- und Aequatorialstrom bedingt, und das längere Verharren in einem und demselben Strome gibt der Witterung den regelmäßigen Charakter, öfteres Wechseln aber erzeugt Extreme, wie sie oft bemerkt werden. Ein dauerndes Befinden im N. Strome bringt kalte Winter und trockene und warme Sommer, ein anhaltendes Verharren des S. Stromes aber nasse und kühle Sommer und milde Winter. Wechselt der Strom beim Eintritte des Winters, so folgt auf einen heißen Sommer ein milder Winter, oder auf einen kühlen Sommer ein strenger Winter. Wenn aber ein großer Theil von Europa sich im N. Strome befindet, so muß sich Asien oder Amerika im S. Strome befinden und umgekehrt, daher es denn auch kommt, daß milde Winter bei uns mit ungewöhnlich strengen in Amerika oder Asien gleichzeitig sind, wie dieses in den Jahren 1821 — 1822 und 1834 — 1835 der Fall war, wo das Thermometer während der entschiedensten Wintermonate kaum 10 Tage hinter einander unter 0° stand, während in Amerika selbst in einer Breite von Mailand das Quecksilber fror. Der durch den Südstrom unterhaltene milde Winter einer Gegend unterstützt die erwärmende Wirkung der Sonne im Frühlinge, während diese Wirkung dort, wo ein strenger Winter herrscht, durch die zum Schmelzen des Eises nöthige Wärmebildung nicht Statt hat, die Wärmedifferenz beider Gegenden wird dadurch gesteigert, der Druck der Luft in der kalten Gegend vermehrt, und endlich dahin gebracht, daß der N. Strom den S. Strom überwältigt, und sich über die Gegenden ergießt, welche im Genusse eines milden Winters und eines schönen Frühlingsanfanges sind. Daher kommt es, daß oft auf milde Winter ein kalter Frühling folgt, und den gemeinen Mann auf die Meinung bringt, es müsse sich die Natur eines gewissen Maßes von Kälte im Laufe eines Jahres entledigen.

267. Das **Barometer** wird mit Recht als einer der zuverlässigsten Wetterpropheten angesehen; denn man kann fast immer mit Sicherheit von starken Veränderungen im Barometerstande auf Aenderungen im Charakter der Witterung schließen. Gewöhnlich geht man aber noch weiter, und betrachtet das Fallen des Barometers als Vorzeichen einer schlechten, das Steigen desselben als Vorzeichen einer günstigen Witterung. Ungewöhnlich starkes und schnelles Fallen des Barometers muß mit starken Störungen des Gleichgewichtes verbunden seyn, und wird darum mit Recht als Zeichen eines bevorstehenden oder schon in mehr oder weniger weit entfernten Orten herrschenden Sturmes angesehen. Darum pflegen Seeleute das Barometer fleißig zu beobachten, um aus dessen Stande abnehmen zu können, ob es etwa Zeit sey, sich auf einen bevorstehenden Sturm vorzubereiten. Da der Uebergang der Wasserdünste in tropfbaren Zustand eine Verminderung des Luftdruckes erzeugen muß, weil wohl die Dünste, nicht aber die Wassertropfen, den Druck der Atmosphäre vermehren helfen; so muß auch wohl in der Regel ein Sinken des Barometers schlechtes, ein Steigen gutes Wetter erwarten lassen, jedoch wird diese Erwartung nicht selten getäuscht, weil feuchte Luft nicht immer so weit gebracht wird, daß ihr Wassergehalt Regen erzeugen muß, und auch bei eintretender Kälte die schon vorhandene Feuchtigkeit ausgeschieden werden kann. Nach v. **Buch** unterbleiben Wasserniederschläge nicht, sobald das Barometer bei irgend einem Winde unter die diesem Winde entsprechende mittlere Höhe herabgesunken ist. Da auf östliche Winde meistens südliche folgen, und durch Abkühlung der letzteren wässerige Niederschläge und zugleich ein Sinken des Barometers bewirkt werden; so muß bei ihnen das Barometer vor oder während des Regens fallen. Auf der Westseite erfolgt aber das Gegentheil; denn weil ein westlicher Wind in der Regel in einen nördlichen umschlägt, wodurch Regen und zugleich ein Steigen des Barometers bewirkt wird; so muß bei solchen Winden das Barometer während oder vor dem Regen steigen.

268. Die **Durchsichtigkeit** und **Farbe** der Luft (des Firmamentes) hängt bekanntlich von der Menge und dem Aggregationszustande des in der Luft enthaltenen Wassers ab, und daher kann man von jener auf diese und auf die leicht sich daraus ergebenden Folgen schließen. So lange das Wasser im vollkommen expansiblen Zustande in der Luft schwebt, macht es dieselbe desto durchsichtiger, in je größerer Menge es darin vorkommt. Daher sieht man die aus der großen Durchsichtigkeit der Luft sich ergebende, scheinbare Nähe ferner Gegenstände, das schwarze Aussehen von Wäldern 2c. als Zeichen der überhand nehmenden Luftfeuchtigkeit an. Von dieser großen Durchsichtigkeit der Luft mag auch die stärker erwärmende Kraft der Sonne herrühren, und darin der Grund liegen, warum man das Stechen der Sonne als Vorzeichen einer Wetteränderung ansieht. Ungewöhnliche Heiterkeit des nächtlichen Himmels, durch welche selbst die kleineren Sterne sichtbar werden, hat dieselbe Bedeutung; ein sanfter Schleier über ferne Berge läßt aus gleichem Grunde ein Fortdauern der günstigen Witterung hoffen. Das Erblassen des Firmamentes deu-

tet den Anfang des Uebergangs der Dünste in kleine Tröpfchen an, und ist darum ein Vorbote wässeriger Niederschläge. Es wird meistens durch den in oberen Regionen schon eingetretenen Südwind verursacht.

269. Schon die Alten haben das Aussehen der Sonne, des Mondes und der Sterne, besonders beim Auf- und Untergange, zum Behufe der Meteoromantie benützt, und man sieht leicht ein, daß dieses mit Grund geschah, indem man daraus auf den Feuchtigkeitszustand der Luft und daher auch auf die damit zusammenhängenden Phänomene schließen kann. Geht die Sonne, der Mond, oder ein Stern früher auf als gewöhnlich, so herrscht eine starke Strahlenbrechung und die Luft enthält viele Dünste; dasselbe ist der Fall, wenn die Scheibe des Mondes oder der Sonne beim Aufgehen ungewöhnlich groß oder oval erscheint. Eine verticale Nebensonne oder ein Nebenmond hat eine ähnliche Vorbedeutung. Gehen die Gestirne, besonders aber die Sonne blaß, roth oder gar unter Wolken auf, so mag der übrige Himmel wie immer rein seyn, es ist doch ein baldiger wässeriger Niederschlag zu besorgen, weil schon ein südlicher (südöstlicher) Wind im Anzuge ist. Ja selbst wenn directer Ostwind herrscht, so zeigen doch die schon an der Ostseite vorhandenen hohen Wolken an, daß der in der Regel ihn ablösende südliche Wind diese Wolken in Regenwolken verwandeln werde. Darum geht ein solcher Sonnenaufgang nicht selten der Witterungsänderung um 2 — 3 Tage voraus. Trüber Sonnenuntergang zeigt eine Anhäufung der Dünste am westlichen Himmel, und da im mittleren Europa die westlichen Winde die herrschenden sind, die Wahrscheinlichkeit, daß dieses Uebermaß auch bald unseren Scheitel erreichen wird. Starkes Funkeln der Sterne, ungewöhnliche Größe derselben, Höfe um sie, um die Sonne und den Mond müssen, ihrer Natur nach, nasse Witterung befürchten lassen, und zwar letzteres um so mehr, je größer sie sind, weil die Größe der Höfe einen Beweis für ihre geringe Entfernung abgibt.

270. Ein fast immer sicheres Vorzeichen der bevorstehenden Witterung gibt die Gestalt, Lage und Veränderung der Wolken ab. Lange Federwolken verkünden Wind aus der Gegend, wohin ihre Spitzen zeigen; dasselbe gilt von gedrängten, gehäuften Federwolken. Geschichtete Federwolken, besonders am westlichen Himmel, drohen mit anhaltendem sanften Landregen. Wenn Haufenwolken früh entstehen, bis Mittag sich anhäufen und Nachmittag wieder abnehmen, dauert schönes Wetter fort; sobald sie aber der Nachmittag nicht mehr zu überwältigen vermag, und der nächtliche Himmel noch mehrere derselben antrifft, gehen sie in die geschichtete Haufenwolke über und bringen Regen. Die isolirt am Himmel schwebende Haufenwolke ist überhaupt ein günstiges Wetterzeichen, weil sie das Uebergewicht der von der Erde aufsteigenden, warmen Luftströme über den Einfluß der Winde beweiset; darum sind solche Wolken bei uns im Winter, in den Polargegenden aber immer eine Seltenheit. Regenwolken lassen wenig befürchten, wenn sie am östlichen Himmel schweben, desto mehr aber, wenn sie an der Westseite stehen, weil sie im ersten Falle bei dem entschiedenen Uebergewichte der westlichen Winde von uns hinweg-, im

zweiten aber zu uns herbeigeführt werden. Darum ist auch ein Regenbogen am Abende (östliche Regenwolken) ein gutes, am Morgen ein schlechtes Vorzeichen. Tief schwebende Wolken sind entweder sehr dicht und daher ihrer Zersetzung sehr nahe, oder sie setzen eine große Feuchtigkeit der Luft voraus; sie sind daher immer von übler Vorbedeutung, besonders wenn sie sich in der Richtung befinden, von woher die herrschenden Winde blasen. Darum befürchtet man schlechtes Wetter, wenn die Gipfel der Berge von Wolken eingehüllt erscheinen, und hofft nicht eher auf Rückkehr eines besseren, als bis sich die Berge an der Regenseite wieder unbewölkt zeigen; darum dienen gewisse Berge, wie z. B. der Zopten in Schlesien, die nordwestliche Gebirgskette um Wien als Wetteranzeiger. Das Wasserziehen der Sonne setzt sehr tief schwebende feine Wolken voraus, und ist darum ein Regenzeichen.

271. Ungewöhnlich große Feuchtigkeit oder Trockenheit der Luft in den unteren Regionen läßt auf nasse oder trockene Witterung für die Zukunft schließen. Darum sind Hygrometerbeobachtungen selbst in dieser Beziehung nützlich. Wenn der Thaupunkt des Schwefelätherhygrometers bei Sonnenuntergang über dem Eispunkte liegt, hat man selbst bei heiteren Nächten in der Regel keinen Reif zu besorgen, weil die Erkältung ohne Nebelbildung oder Wind nicht unter diesen Punkt fortschreitet, und bei eintretendem Nebel oder Wind fast nie ein Reif sich bilden kann. Alles, was auf große Luftfeuchtigkeit schließen läßt, verkündet nasse Witterung. Darum ist das Rauchen der Wälder, das Niederschlagen des Rauches, das Stinken von Senkgruben, das Beschlagen der Mauern und Steine, das Nachlassen steifer Papiere, das Zerfließen der Salze, das starke Riechen des in der Luft liegenden Chlorkalkes, der ungewöhnlich weiche Ton geleimter musikalischer Instrumente, der ungewöhnlich helle Ton ferner Glocken ꝛc., oft von übler Vorbedeutung.

272. Plötzliche Aenderung in der Stärke und im Zeichen der Luftelectricität führt in der Regel eine Aenderung im Charakter der Witterung mit sich. Das Verschwinden der Luftelectricität deutet auf bevorstehenden Wind, nicht selten auf wässerige Niederschläge.

273. Der größte Theil der Wetterregeln, auf welche der gemeine Mann einen so großen Werth setzt, und die sogar zum Sprichworte geworden sind, bezieht sich auf den Zusammenhang der Meteore und ihre periodische Wiederkehr, und es wird dabei stets von der Witterung der Gegenwart auf die Zukunft geschlossen. Viele dieser Regeln stehen unter sich im Widerspruche, andere setzen einen Zusammenhang zwischen Dingen voraus, die von einander unabhängig sind, andere haben allerdings Grund und sind allein einer näheren Erwähnung werth. — Dem jährlichen Gange der Wärme gemäß steht der Winter mit dem Frühlinge mittelst eines Nachwinters, der Sommer mit dem Herbste mittelst eines Nachsommers in Verbindung. Weder der Nachsommer noch der Nachwinter tritt immer zur selben Zeit ein, unterbleibt aber in der Regel nicht. Man sieht es als ein günstiges Ereigniß an, wenn der Nachwinter schnell auf den eigentlichen Winter folgt, weil dann die Luftwärme zeitlich genug den zum Keimen der Samen

nöthigen Grad erreicht. Darauf beruht es, daß man trockenen März so hoch ansetzt (Märzstaub ist goldeswerth), schöne Witterung im Februar ungern sieht rc. Im südlichen Deutschland äußern die tropischen Regen der heißen Zone ihren Einfluß durch häufige Wasserniederschläge. Wenn diese eintreten, so beginnen sie im Anfange Juni, und darum hält der Landmann einen Landregen in dieser Zeit für ein Vorzeichen eines nassen Sommers. Ein nasser Frühling und Sommer läßt einen trockenen Herbst, viel Schnee im Winter einen trockenen Sommer hoffen, weil wir uns unter diesen Umständen während des Frühlings und Sommers oder während des Herbstes im Südstrome befinden, und daher bei einem Wechsel in den Nordstrom kommen. Morgenregen gelten fast allgemein als schnell vorübergehend, weil die fast immer herrschenden Westwinde die Regenwolken vertreiben und die Tageswärme die Wolken verdünnt; Abendregen hingegen werden als anhaltend angesehen, weil sie durch die nächtliche Kühle noch mehr verstärkt werden. Dauert nach einem Regen die Wärme fort, so bleibt der Südwind herrschend, und wir haben eine Wiederholung eines Wasserniederschlages zu befürchten. Eben darum folgt auf ein Gewitter fast immer ein zweites, wenn nicht auf das erste eine erquickende Kühle eintritt. Zu reichlicher Thau läßt auf viele Luftfeuchtigkeit schließen, das gänzliche Ausbleiben des Thaues ist ein Zeichen von herrschenden Winden oder von zu trüber Luft, und deutet auf baldigen Regen.

274. Mehrere fleißige Beobachter, wie Toaldo, Pilgram, Schübler, Eisenlohr und Flaugergues, wollen auch einen Zusammenhang zwischen der Witterung und dem Mondesstande beobachtet haben, und zwar hat Schübler gezeigt, daß sich dieser Einfluß des Mondes auf die Regenmenge, Windesrichtung, den Barometerstand und Witterungsveränderung beziehe. Eine Vergleichung vieljähriger Beobachtungen an verschiedenen Orten lehrt, daß es am Tage des letzten Viertels am wenigsten regne, und daß die Regenmenge allmälig wachse, am Tage, wo der Mond im zweiten Octanten steht, das Maximum erreiche, und von da an wieder abnehme. Vom Neumonde bis zum zweiten Octanten werden in Deutschland die Süd- und Westwinde, um das letzte Viertel hingegen die Ost- und Nordwinde häufiger. Im letzten Viertel steht im Durchschnitte das Barometer am höchsten, im zweiten Octanten am niedrigsten, und es ändert sich die Witterung am öftesten, wenn sich der Mond in der Erdnähe befindet; seine Kraft, das Wetter zu ändern, nimmt ab in folgender Ordnung: Neumond nach der Erdnähe, Vollmond, Erdferne, die Quadraturen (Viertel), die Aequinoctien, die Lunistitien.

Nach Toaldo verhält sich die Wahrscheinlichkeit, daß sich das Wetter ändern wird, zu der des Gegentheils bei der Erdnähe des Mondes wie 6 : 1, beim Neumonde nahe wie 6 : 1, beim Vollmonde wie 5 : 1, bei der Erdferne wie 4 : 1, bei den Vierteln nahe wie 2 : 1, bei den Aequinoctien wie 2 : 1. (*Essai météorologique. Chambery* 1784. 131.) Nach Schübler verhält sich die Wirksamkeit des Mondes, die Witterung zu ändern, beim Vollmonde und letzten Viertel wie 1000 : 823, in der Erdnähe und Erdferne wie 1000 : 588. (Ueber den Einfluß des Mondes auf die Aenderungen der Atm. Leipzig v. Schübler. 1830.

Kast. Arch. für Chemie und Meteor. 4. 13., 161. Eisenlohr in Pogg. Ann. 30. 72; 35. 141 und 309.)

275. Daß viele Thiere die bevorstehende Witterung durch ihr Benehmen anzeigen, ist bekannt. Es erklärt sich dieses zum Theile aus dem geübteren Empfindungsvermögen dieser stets im Freien lebenden Wesen, theils aus dem Umstande, daß sie ihre Nahrung bei bevorstehender Wetteränderung an einigen Orten leichter finden als an anderen. So z. B. fliegen Schwalben bei drohendem Regen sehr niedrig, weil sie in der Nähe des Bodens die Insecten, welche stets die trockenste und wärmste Luft suchen, und ihnen zur Nahrung dienen, am leichtesten antreffen; Fische tauchen aus demselben Grunde öfter auf, und haschen die über dem Wasser schwebenden Insecten; Möven sammeln sich vor einem Sturme am Meeresufer, um der ausgeworfenen Fische habhaft zu werden. Das Ankommen der Zugvögel gilt meistens als Zeichen der nahen Frühlingswärme, weil diese Thiere der warmen, oberen Luft nachziehen, und sich erwarten läßt, diese werde sich auch bald senken und die untere Luft erwärmen. Eben so sieht man das Wegziehen derselben als Zeichen der bevorstehenden Wärmeabnahme an, weil die in den nördlichen Gegenden wohnenden Thiere ihren Aufenthaltsort alsogleich verlassen, sobald kalte Luft herrschend wird, und durch ihr Ziehen in südlichere Gegenden auch die daselbst wohnenden ans Fortziehen erinnern 2c.

276. Oft geschieht es, daß zu gleicher Zeit entgegengesetzte Wetterzeichen eintreten und den Beobachter in Zweifel setzen, welchem von ihnen er mehr trauen soll. In einem solchen Falle läßt sich nur dann eine gegründete Vermuthung wagen, wenn eines dieser Zeichen über die anderen von entschiedenem Uebergewichte ist; allein selbst im Falle eines einzigen Vorzeichens darf man das, was die vorhergehenden Regeln angeben, nur für Wahrscheinlichkeit halten.

(Pilgram über das Wahrscheinliche der Witterungskunde. Wien 1788. Neue Ideen über die Meteorologie von de Luc. 1787. Lehrbuch der physischen Astronomie, Theorie der Erde und Meteorologie von J. T. Mayer. Göttingen 1805. Systematischer Grundriß der Atmosphärologie von Lampadius. Freiberg 1806. Handbuch der Naturlehre von Schmidt. Zweite Abtheilung. Gießen 1813. Die Witterungskunde in ihrer Grundlage von Schön. Würzburg 1818. Anfangsgründe der Naturlehre von Muncke. 2. Abtheilung. Heidelberg 1820. Desselben Handbuch der Naturlehre. 2. Thl. Heidelberg 1830. Handbuch der Meteorologie von Kastner. Erlangen 1823. *Meteorological essays and observations by I. Daniell. London* 1833. Kämtz Lehrbuch der Meteorologie. 3. Bd. Halle 1831 und 1832. Die Atmosphäre und ihre vorzüglichsten Erscheinungen von Dr. J. F. Günther. Frankf. a. M. 1835. Meteorologische Untersuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Abriß einer Geschichte der neueren Fortschritte und des gegenwärtigen Zustandes der Meteorologie von J. Forbes, übersetzt und ergänzt von Mahlmann. Berlin 1836.)

Register.

(Die Zahlen bedeuten die Seite.)

A.

C.

D.

H.

J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

T.

U.

V.

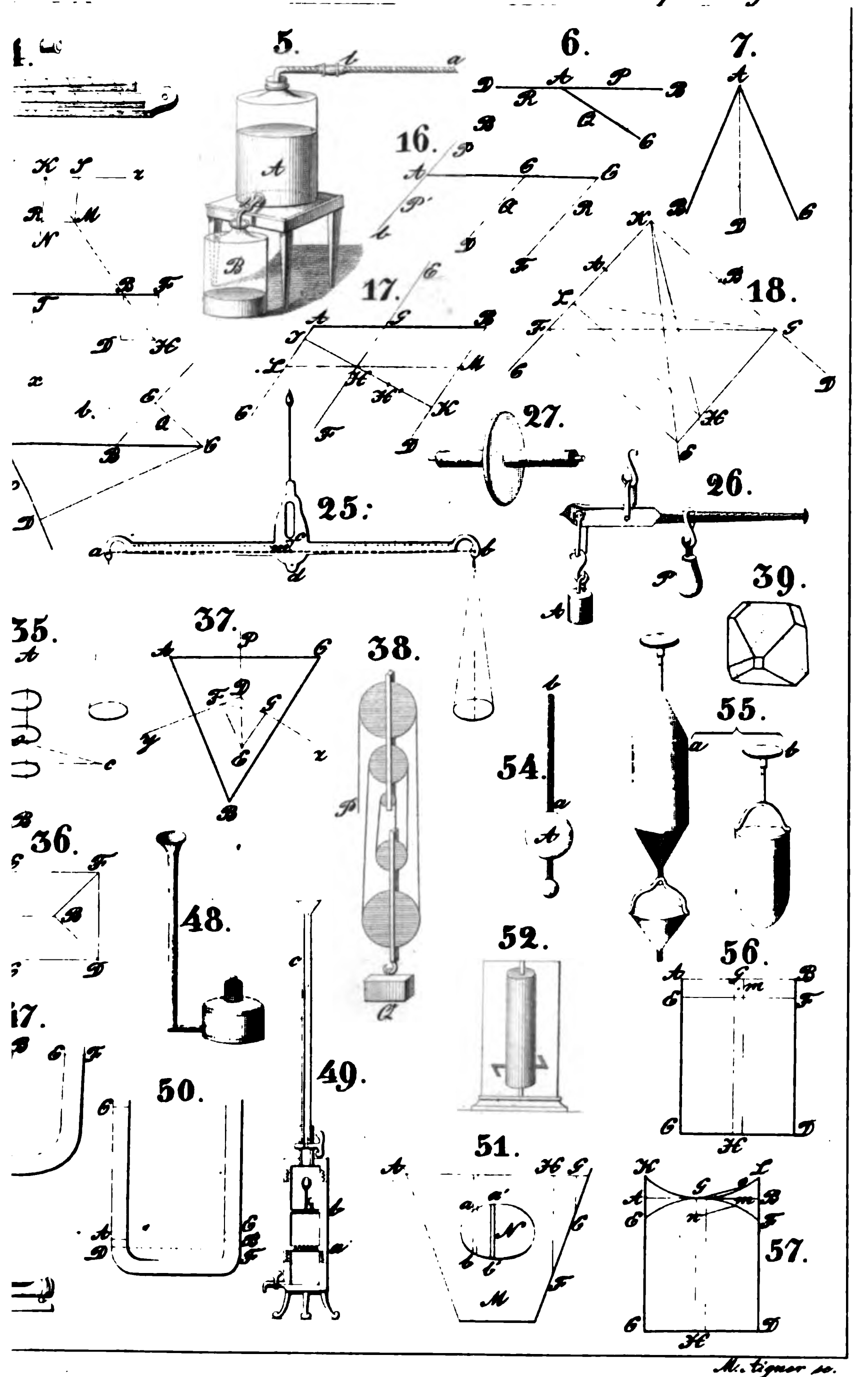
W.

Z.

Verbesserungen.

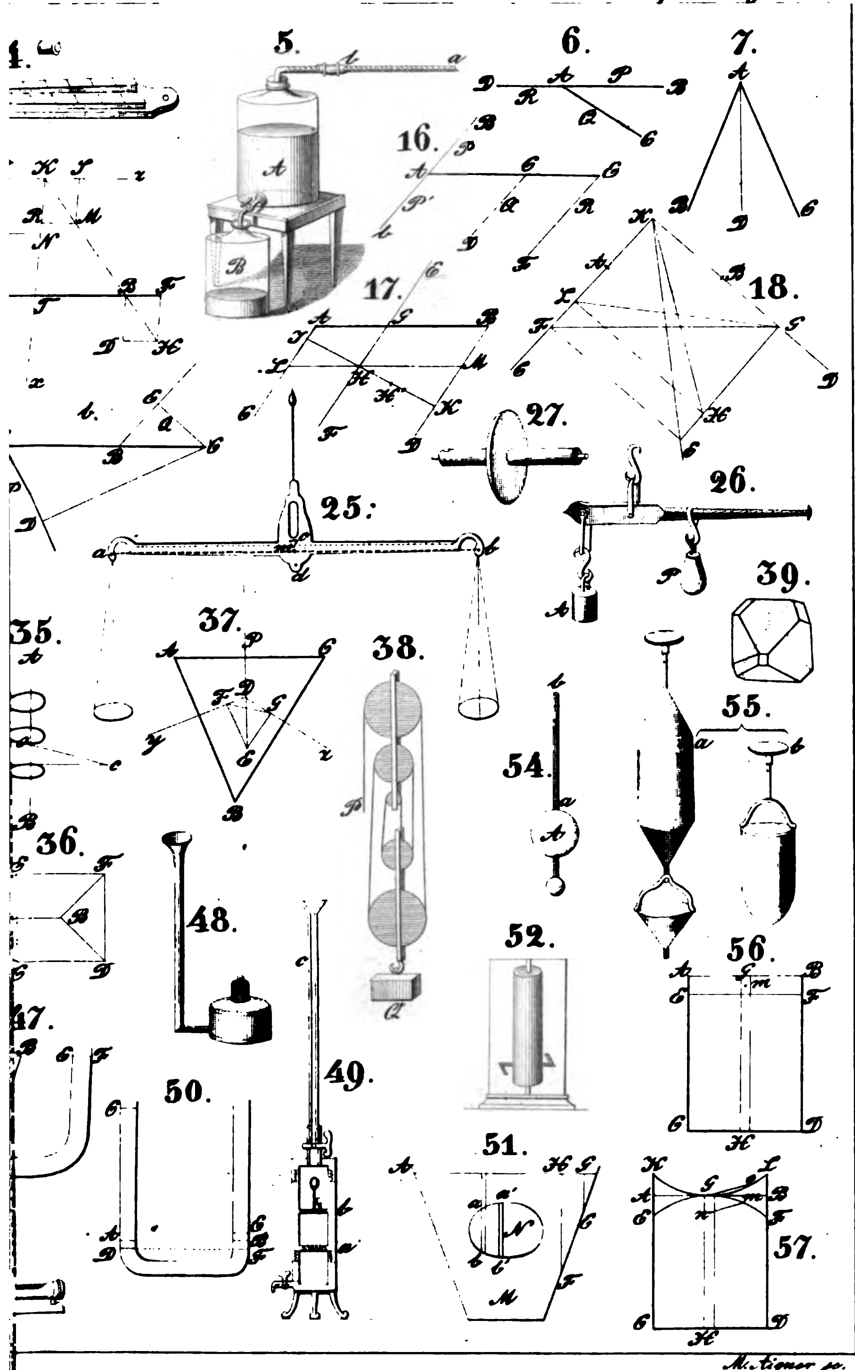
Seite 15, Z. 12, statt »dieser« lese man »diese.«
» 70, » 5, von unten, statt »Fig. 26« l. m. »Fig. 24.«
» 116, » 5, statt »Fig. 54« l. m. »Fig. 58.«
» 120, » 11, von unten, nach »entspricht.« setze man hinzu: »Eine sehr einfache von Gay-Lussac angegebene Form des Heberbarometers zeigt Fig. 63.«
» 148, » 16, statt »Differenz zwischen« l. m. »Summe.«
» 156, » 11, statt »Fig. 92« l. m. »Fig. 90.«
» 172, » 20, v. u. nach »A x«. setze man »Fig. 103.«
» 173, » 8, statt »$\frac{h}{g}$« l. m. »$\frac{v}{g}$.«
» — » 10, statt »ACB« l. m. »ADB.«
» 351, » 17, statt »Fig. 256« l. m. »Fig. 256 a.«
» 353, » 14, statt »Fig. 257« l. m. »Fig. 256 b.«
» 354, » 27, statt »der Axe parallel« l. m. »unter 45° gegen die Axe.«
» — » — statt »mit gekreuzten Axen« l. m. »mit gekreuzten Hauptschnitten.«
» 416, » 11, v. u. statt »solcher« l. m. »gleicher.«
» 480, » 17, statt »b e *sin* b e d« l. m. »b e *sin* b e d.«
» 557, » 14, statt »M« l. m. »M'.«
» — » 24, statt »M« l. m. »M'.«

Taf. I. Fig. 1_57.



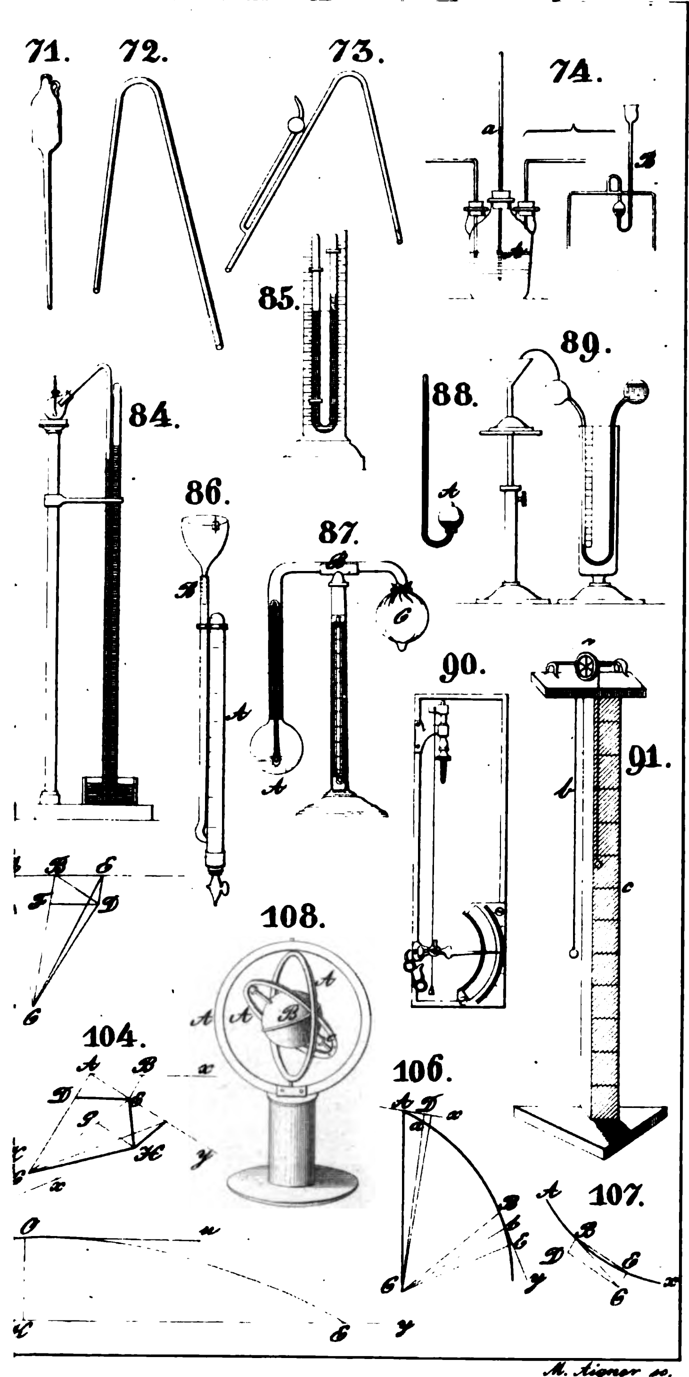
M. Tigner sc.

Taf. I. Fig. 1_57.

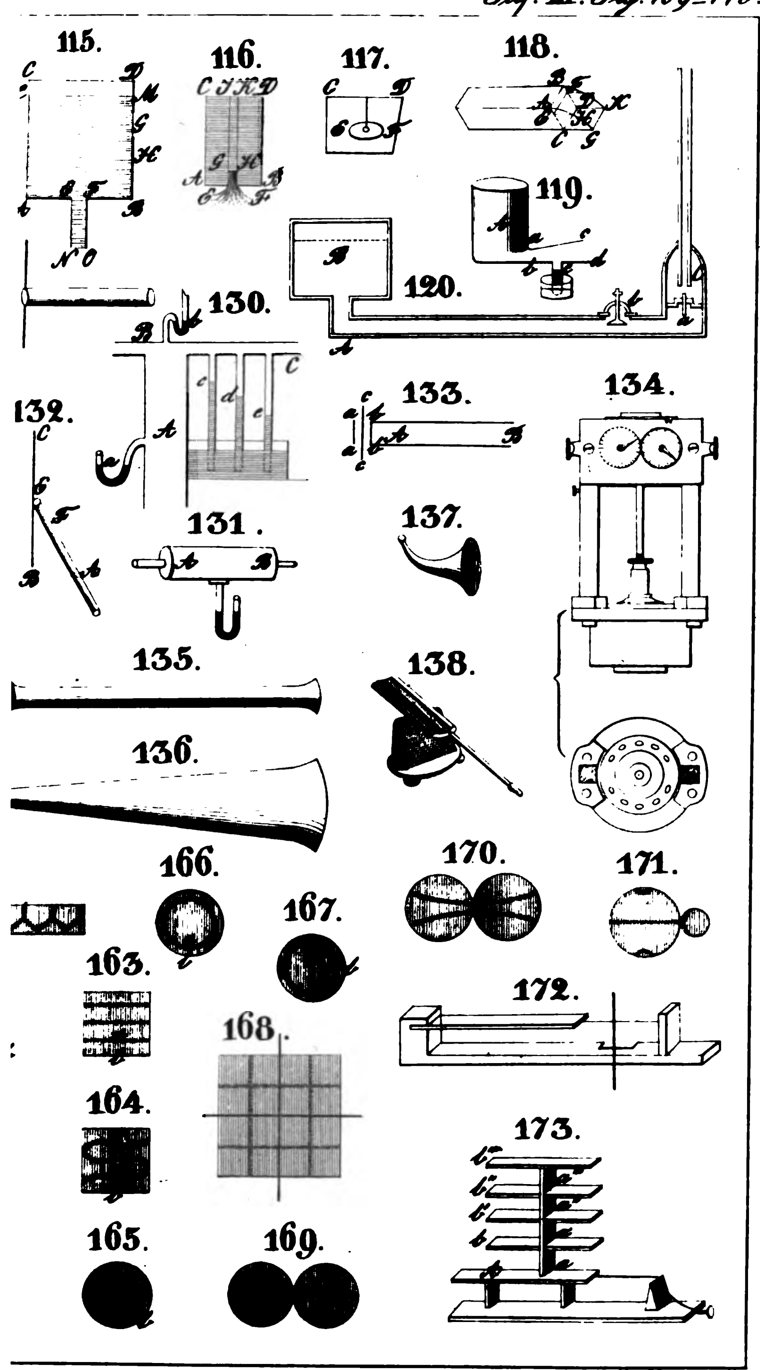


M. Aigner sc.

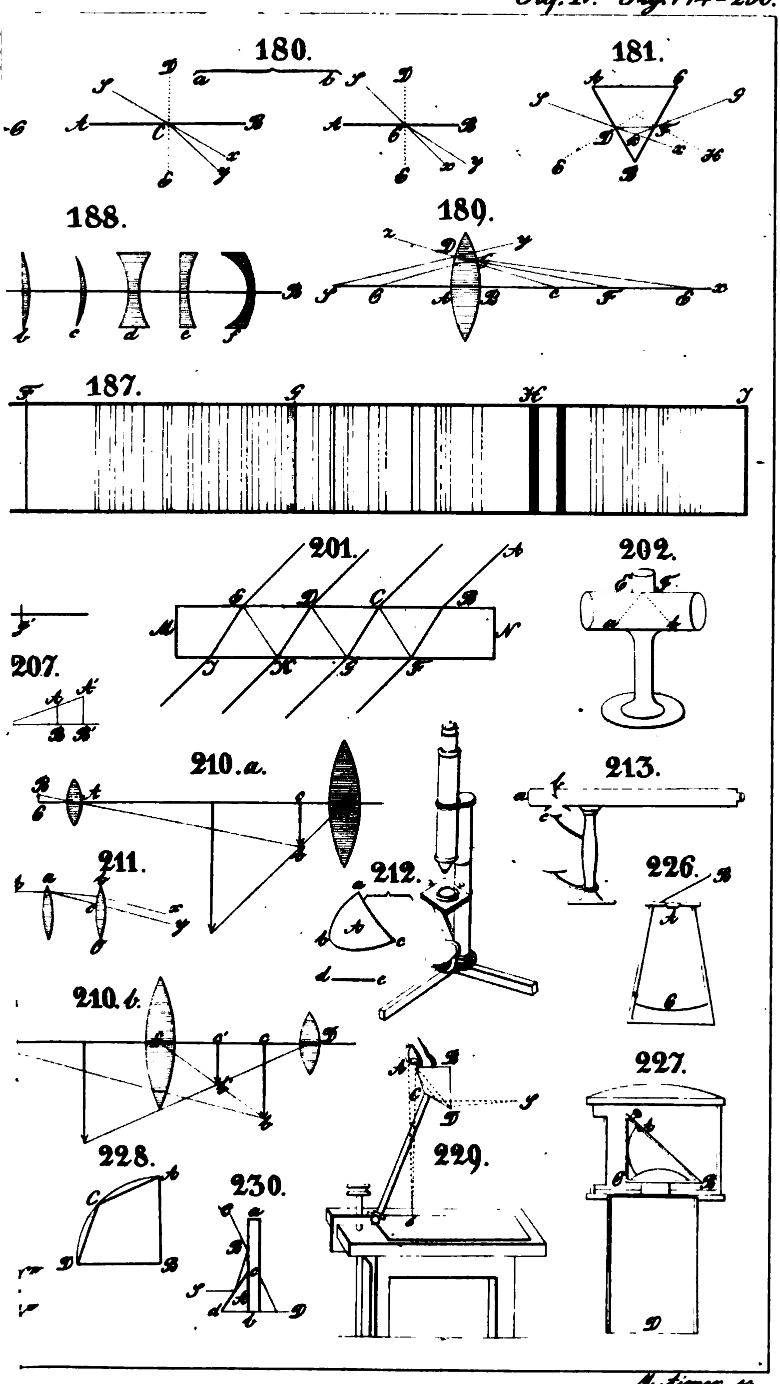
Taf. II. Fig. 58_108.



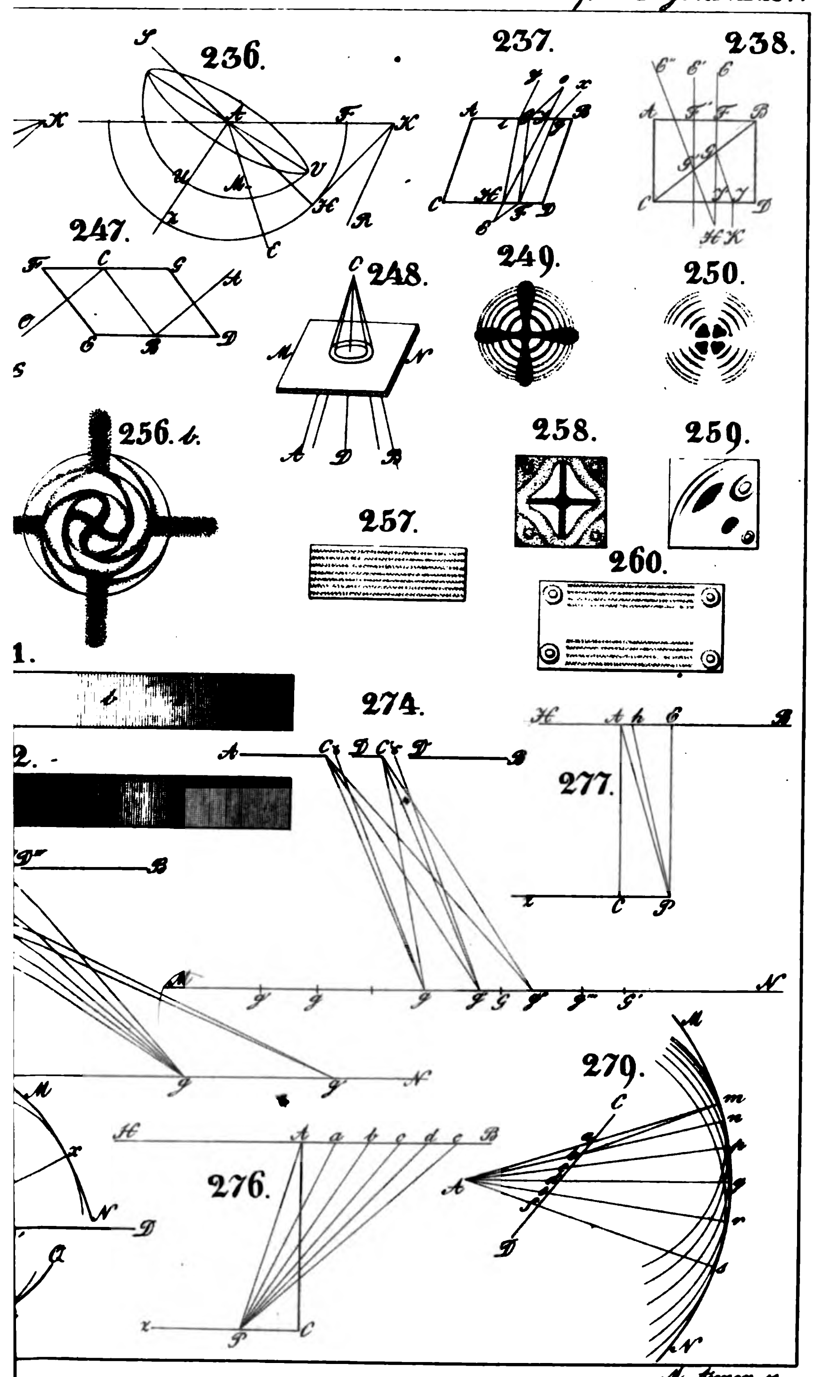
M. Aigner sc.


115.
116.
117.
118.
119.
120.
130.
131.
132.
133.
134.
135.
136.
137.
138.
163.
164.
165.
166.
167.
168.
169.
170.
171.
172.
173.

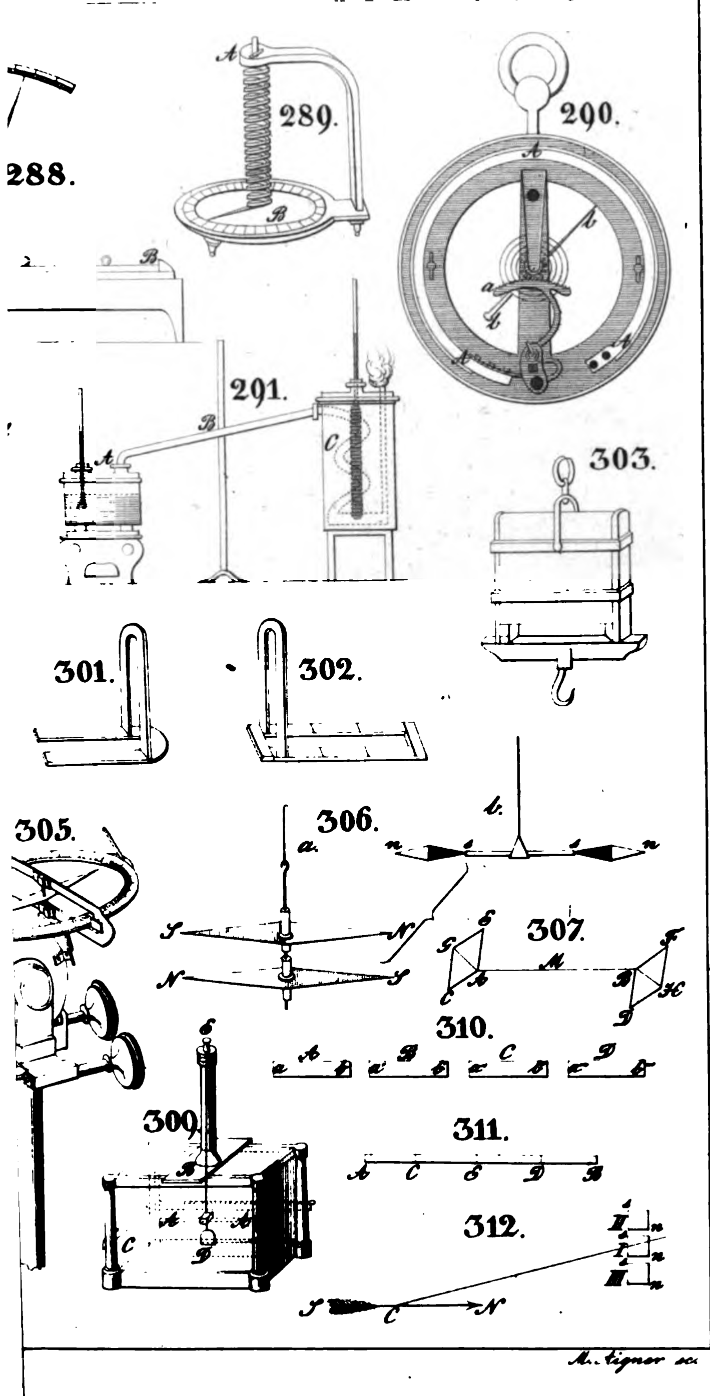
M. Aigner sc.


180.
181.
188.
189.
187.
201.
202.
207.
210. a.
211.
212.
213.
226.
210. b.
227.
228.
229.
230.

M. Aigner sc.

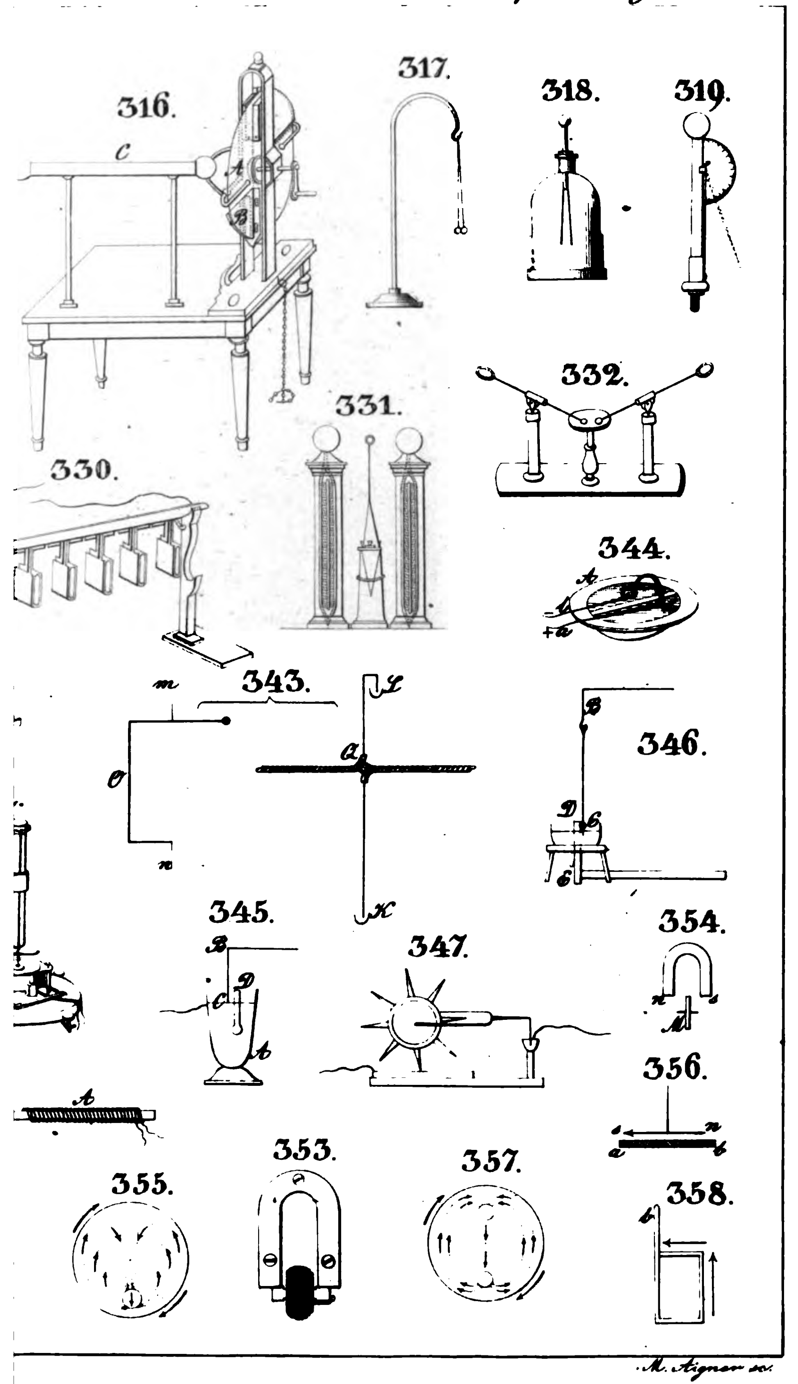


M. Aigner sc.

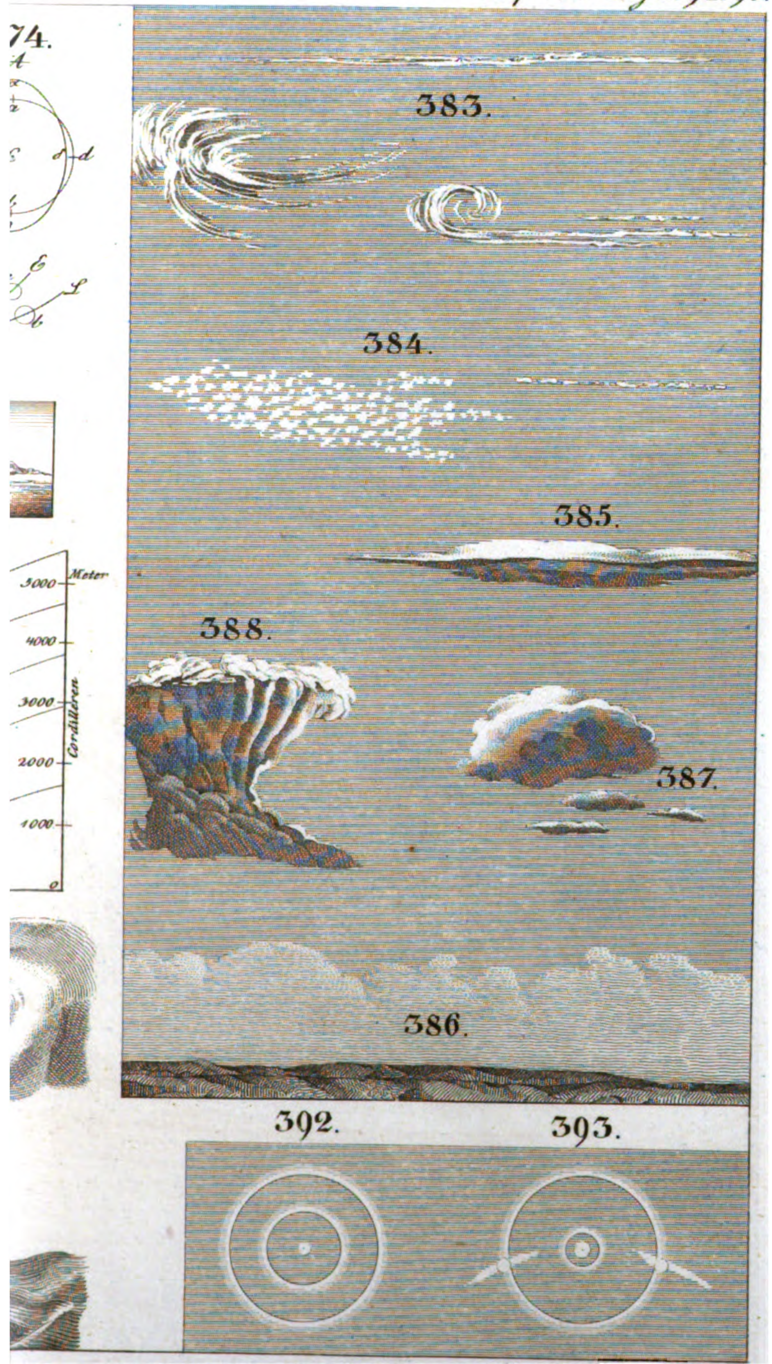


M. Aigner sc.

Taf. VII. Fig. 313 _ 358.



M. Aigner sc.


74.
Meter
5000
4000
3000
2000
1000
0
Cordilleren
383.
384.
385.
388.
387.
386.
392.
393.

M. Aigner sc.





